
СОВРЕМЕННЫЕ НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

№ 5, 2022
Часть 1
ISSN 1812–7320

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,899
Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,338

Журнал издается с 2003 г.
12 выпусков в год

Электронная версия журнала

top-technologies.ru/ru

Правила для авторов:

top-technologies.ru/ru/rules/index

Подписной индекс по электронному каталогу «Почта России» – ПА037

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Ледванов Михаил Юрьевич, д.м.н., профессор

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.т.н., профессор, Айдосов А. (Алматы); д.г.-м.н., профессор, Алексеев С.В. (Иркутск); д.х.н., профессор, Алов В.З. (Нальчик); д.т.н., доцент, Аршинский Л.В. (Иркутск); д.т.н., профессор, Ахтулов А.Л. (Омск); д.т.н., профессор, Баёв А.С. (Санкт-Петербург); д.т.н., профессор, Баубеков С.Д. (Тараз); д.т.н., профессор, Беззубцева М.М. (Санкт-Петербург); д.п.н., профессор, Безрукова Н.П. (Красноярск); д.т.н., доцент, Белозеров В.В. (Ростов-на-Дону); д.т.н., доцент, Бессонова Л.П. (Воронеж); д.п.н., доцент, Бобыкина И.А. (Челябинск); д.г.-м.н., профессор, Бондарев В.И. (Екатеринбург); д.п.н., профессор, Бутов А.Ю. (Москва); д.т.н., доцент, Быстров В.А. (Новокузнецк); д.г.-м.н., профессор, Гавришин А.И. (Новочеркасск); д.т.н., профессор, Герман-Галкин С.Г. (Щецин); д.т.н., профессор, Германов Г.Н. (Москва); д.т.н., профессор, Горбатюк С.М. (Москва); д.т.н., профессор, Гоц А.Н. (Владимир); д.п.н., профессор, Далингер В.А. (Омск); д.псх.н., профессор, Долгова В.И., (Челябинск); д.э.н., профессор, Долятовский В.А. (Ростов-на-Дону); д.х.н., профессор, Дресвянников А.Ф. (Казань); д.псх.н., профессор, Дубовицкая Т.Д. (Сочи); д.т.н., доцент, Дубровин А.С. (Воронеж); д.п.н., доцент, Евтушенко И.В. (Москва); д.п.н., профессор, Ефремова Н.Ф. (Ростов-на-Дону); д.т.н., профессор, Завражнов А.И. (Мичуринск); д.п.н., доцент, Загrevский О.И. (Томск); д.т.н., профессор, Ибраев И.К. (Караганда); д.т.н., профессор, Иванова Г.С. (Москва); д.х.н., профессор, Ивашкевич А.Н. (Москва); д.ф.-м.н., профессор, Ижуктин В.С. (Москва); д.т.н., профессор, Калмыков И.А. (Ставрополь); д.п.н., профессор, Качалова Л.П. (Шадринск); д.псх.н., доцент, Кибальченко И.А. (Таганрог); д.п.н., профессор, Клемантович И.П. (Москва); д.п.н., профессор, Козлов О.А. (Москва); д.т.н., профессор, Козлов А.М. (Липецк); д.т.н., доцент, Козловский В.Н. (Самара); д.т.н., доцент, Красновский А.Н. (Москва); д.т.н., профессор, Крупенин В.Л. (Москва); д.т.н., профессор, Кузлякина В.В. (Владивосток); д.т.н., доцент, Кузяков О.Н. (Тюмень); д.т.н., профессор, Куликовская И.Э. (Ростов-на-Дону); д.т.н., профессор, Лавров Е.А. (Суми); д.т.н., доцент, Ландэ Д.В. (Киев); д.т.н., профессор, Леонтьев Л.Б. (Владивосток); д.ф.-м.н., доцент, Ломазов В.А. (Белгород); д.т.н., профессор, Ломакина Л.С. (Нижний Новгород); д.т.н., профессор, Лубенцов В.Ф. (Краснодар); д.т.н., профессор, Мадера А.Г. (Москва); д.т.н., профессор, Макаров В.Ф. (Пермь); д.п.н., профессор, Марков К.К. (Иркутск); д.п.н., профессор, Матис В.И. (Барнаул); д.г.-м.н., профессор, Мельников А.И. (Иркутск); д.п.н., профессор, Микерова Г.Ж. (Краснодар); д.п.н., профессор, Моисеева Л.В. (Екатеринбург); д.т.н., профессор, Мурашкина Т.И. (Пенза); д.т.н., профессор, Мусаев В.К. (Москва); д.т.н., профессор, Надеждин Е.Н. (Тула); д.ф.-м.н., профессор, Никонов Э.Г. (Дубна); д.т.н., профессор, Носенко В.А. (Волгоград); д.т.н., профессор, Осипов Г.С. (Южно-Сахалинск); д.т.н., профессор, Пен Р.З. (Красноярск); д.т.н., профессор, Петров М.Н. (Красноярск); д.т.н., профессор, Петрова И.Ю. (Астрахань); д.т.н., профессор, Пивень В.В. (Тюмень); д.э.н., профессор, Потышняк Е.Н. (Харьков); д.т.н., профессор, Пузряков А.Ф. (Москва); д.п.н., профессор, Рахимбаева И.Э. (Саратов); д.п.н., профессор, Резанович И.В. (Челябинск); д.т.н., профессор, Рогачев А.Ф. (Волгоград); д.т.н., профессор, Рогов В.А. (Москва); д.т.н., профессор, Санинский В.А. (Волжский); д.т.н., профессор, Сердобинцев Ю.П. (Волгоградский); д.э.н., профессор, Сихимбаев М.Р. (Караганда); д.т.н., профессор, Скрышник О.Н. (Иркутск); д.п.н., профессор, Собынин Ф.И. (Белгород); д.т.н., профессор, Страбыкин Д.А. (Киров); д.т.н., профессор, Сулак Е.В. (Красноярск); д.ф.-м.н., профессор, Тактаров Н.Г. (Саранск); д.п.н., доцент, Тутолмин А.В. (Глазов); д.т.н., профессор, Умбетов У.У. (Кызылорда); д.м.н., профессор, Фесенко Ю.А. (Санкт-Петербург); д.п.н., профессор, Хола Л.Д. (Нерюнгри); д.т.н., профессор, Часовских В.П. (Екатеринбург); д.т.н., профессор, Ченцов С.В. (Красноярск); д.т.н., профессор, Червяков Н.И. (Ставрополь); д.т.н., профессор, Шалумов А.С. (Ковров); д.т.н., профессор, Шарафеев И.Ш. (Казань); д.т.н., профессор, Шишков В.А. (Самара); д.т.н., профессор, Щипицын А.Г. (Челябинск); д.т.н., профессор, Яблокова М.А. (Санкт-Петербург); к.т.н., доцент, Хайдаров А.Г. (Санкт-Петербург)

«СОВРЕМЕННЫЕ НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ» зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС 77 – 63399.

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатный.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,899.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,305.

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

Учредитель, издательство и редакция:
ООО ИД «Академия Естествознания»

Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47

Адрес редакции и издателя: 440026, Пензенская область, г. Пенза, ул. Лермонтова, 3

Ответственный секретарь редакции
Бизенкова Мария Николаевна
тел. +7 (499) 705-72-30
E-mail: edition@rae.ru

Подписано в печать – 31.05.2022
Дата выхода номера – 30.06.2022

Формат 60×90 1/8
Типография
ООО «Научно-издательский центр Академия Естествознания»
410035, Саратовская область, г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Техническая редакция и верстка
Доронкина Е.Н.
Корректор
Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.

Способ печати – оперативный
Распространение по свободной цене
Усл. печ. л. 21,75
Тираж 1000 экз.
Заказ СНТ 2022/5
Подписной индекс ПА037

© ООО ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки (1.2.2, 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5, 2.5.3, 2.5.5, 2.5.7, 2.5.8)

СТАТЬИ

АЛГОРИТМЫ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ С ПРЕДОПРЕДЕЛЕННОЙ СЕМАНТИКОЙ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ СЕМАНТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ <i>Ванюлин А.Н., Алексеева Н.Р.</i>	7
ВЗАИМОСВЯЗАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ЭКЗОСКЕЛЕТА <i>Веселов О.В., Баталов А.В., Логинов Д.Д.</i>	12
ЧАСТОТНАЯ МОДЕЛЬ СГЛАЖИВАЮЩЕГО КУБИЧЕСКОГО СПЛАЙНА И ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ <i>Воскобойников Ю.Е.</i>	18
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАХОЖДЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ИНФРАКРАСНОГО СВЕТОВОГО ПОТОКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА <i>Григорьева Т.В., Белобородова Т.Г., Ирмадзе Э.О.</i>	24
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ НЕФАТОРИЗУЕМЫХ ПОМЕХ В РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С КРУПНОАПЕРТУРНЫМИ АНТЕННЫМИ РЕШЕТКАМИ <i>Гурский С.М., Кочетков И.В., Кузинков А.М.</i>	32
ПОВЫШЕННАЯ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНОСТЬ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ <i>Камаева Э.Д., Фазылова А.В., Дрозд В.А., Насырова Э.С.</i>	38
ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ТЕКСТОВ ОДНОЙ ТЕМАТИКЕ <i>Каспранская А.И., Сметанина О.Н.</i>	43
ПОРАЗРЯДНО-ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ДВОИЧНАЯ ОБРАБОТКА БЕЗ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПЕРЕНОСОВ АСПЕКТАХ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И СНИЖЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ <i>Ромм Я.Е.</i>	48
ОБ ОБЛАСТЯХ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С НЕЭКВИВАЛЕНТНЫМИ КАНАЛАМИ <i>Самерханов И.З.</i>	70
ЮЗАБИЛИТИ-ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ: ЗАДАЧИ, ПАРАМЕТРЫ И КРИТЕРИИ, МЕТОД ОЦЕНКИ <i>Тархов С.В., Тархова Л.М.</i>	77

Технические науки (2.5.2 (05.02.02, 05.02.18), 2.5.9 (05.02.11), 2.5.21 (05.02.13), 2.5.22 (05.02.22), 2.3.8 (05.13.17))

СТАТЬИ

К ВОПРОСУ О СОЗДАНИИ САМОУСТАНОВЛИВАЮЩИХСЯ МЕХАНИЗМОВ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ <i>Гудимова Л.Н., Макаров А.В., Баклушина И.С.</i>	83
УПРАВЛЕНИЕ УГЛЕРОДНЫМ СЛЕДОМ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ЭКОНОМИКЕ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА <i>Кудрявцева С.С., Халиулин Р.А., Какаджанов В.М.</i>	88
ЩЕЛОЧНОЙ ЭЛЕКТРОЛИЗ ВОДЫ ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ <i>Кулешов В.Н., Кулешов Н.В., Курочкин С.В., Гаврилюк А.А., Тютрина С.В.</i>	94

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ДИСПЕТЧЕРА С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОЧЕРЕДЬЮ ЗАДАЧ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ <i>Мартышкин А.И.</i>	100
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ НАКОПЛЕНИЯ ДАННЫХ ПОСРЕДСТВОМ СТЕРЕОПАРЫ И ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА <i>Полянцева К.А.</i>	107
РАЗРУШАЯ СТЕНЫ, ИЛИ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА КАК МЕТОД ДЛЯ ПРЕОДОЛЕНИЯ ИНЕРЦИИ МЫШЛЕНИЯ <i>Харитонов Д.В., Блинов А.Н., Анашкин Д.А.</i>	113
ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ <i>Шиков П.А., Никитина Л.Н., Шиков Ю.А.</i>	119

Педагогические науки (5.8.1, 5.8.1 (13.00.05), 5.8.2, 5.8.3, 5.8.4 (13.00.04), 5.8.5 (13.00.04), 5.8.6 (13.00.04), 5.8.7)

СТАТЬИ

ПРИМЕНЕНИЕ МЕССЕНДЖЕРОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ <i>Быков А.А., Киселева О.М.</i>	127
ОБ АНТРОПОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВАНИЯХ ОТБОРА АБИТУРИЕНТОВ НА ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ <i>Васенина А.Ю.</i>	132
КОНЦЕПЦИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТРЕНИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА И РАЗВИТИЯ ПЛАВАНИЯ В ЛАСТАХ <i>Дудченко П.П.</i>	138
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ <i>Кожевникова Л.М., Оленцова Ю.А., Федорова М.А.</i>	144
НЕКОТОРЫЕ АКСИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДУЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ «ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНО-ЛИЧНОСТНОГО РАЗВИТИЯ» <i>Овчинникова Л.П., Михелькевич В.Н.</i>	149
ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА БУДУЩЕГО УЧИТЕЛЯ В КУЛЬТУРНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ВУЗА <i>Птицына Е.В., Останина С.А., Анцева В.П.</i>	156
МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ И ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГОТОВНОСТИ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ К СОЦИАЛЬНО-ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ АДАПТАЦИИ <i>Тюкина А.В.</i>	161
ДИДАКТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ GOOGLE CLASSROOM И DISCORD ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА В ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ <i>Фирер А.В., Мелешко Е.А., Сидоров В.В., Пономарева А.О.</i>	166

CONTENTS

Technical sciences (1.2.2, 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5, 2.5.3, 2.5.5, 2.5.7, 2.5.8)

ARTICLES

ALGORITHMS FOR IMPLEMENTING SYSTEMS WITH PREDEFINED SEMANTICS BASED ON THE CONCEPT OF SEMANTIC FIELDS <i>Vanyulin A.N., Alekseeva N.R.</i>	7
CONTROL OF INTERCONNECTED EXOSKELETON ACTUATORS <i>Veselov O.V., Batalov A.V., Loginov D.D.</i>	12
FREQUENCY MODEL OF A SMOOTHING CUBIC SPLINE AND IT'S CHARACTERISTICS <i>Voskoboynikov Yu.E.</i>	18
MATHEMATICAL MODEL OF FINDING THE OPTIMAL INFRARED LIGHT FLUX OF A TECHNOLOGICAL PROCESS <i>Grigoreva T.V., Beloborodova T.G., Iremadze E.O.</i>	24
INVESTIGATION OF THE METHOD OF SPATIO-TEMPORAL SIGNAL PROCESSING AGAINST THE BACKGROUND OF NON-FACTORIZABLE INTERFERENCE IN RADIO ENGINEERING SYSTEMS WITH LARGE-APERTURE ANTENNA ARRAYS <i>Gurskiy S.M., Kochetkov I.V., Kuzinkov A.M.</i>	32
INCREASED EXPLOSION AND FIRE HAZARD OF PETROL STATIONS <i>Kamaeva E.D., Fazylova A.V., Drozd V.A., Nasyrova E.S.</i>	38
APPROACH TO THE ASSESSMENT OF TEXTS BELONGING TO THE SAME SUBJECT <i>Kaspranskaya A.I., Smetanina O.N.</i>	43
BITWISE-PARALLEL BINARY PROCESSING WITHOUT TRANSFER CALCULATION IN TERMS OF PERFORMANCE IMPROVEMENT AND ERROR REDUCTION <i>Romm Ya.E.</i>	48
ON THE AREAS OF EFFICIENCY OF QUEUING SYSTEMS WITH NON-EQUIVALENT CHANNELS <i>Samerkhanov I.Z.</i>	70
USABILITY RESEARCH OF USER APPLICATIONS: TASKS, CRITERIA, EVALUATION METHODS <i>Tarkhov S.V., Tarkhova L.M.</i>	77

Technical sciences (2.5.2 (05.02.02, 05.02.18), 2.5.9 (05.02.11), 2.5.21 (05.02.13), 2.5.22 (05.02.22), 2.3.8 (05.13.17))

ARTICLES

ON THE CREATION OF SELF-ALIGNING MECHANISMS IN METALLURGICAL PRODUCTION <i>Gudimova L.N., Makarov A.V., Baklushina I.S.</i>	83
MANAGING THE CARBON FOOTPRINT OF INDUSTRY IN A CIRCULAR ECONOMY <i>Kudryavtseva S.S., Khaliulin R.A., Kakadzhyanov V.M.</i>	88
WATER ALKALINE ELECTROLYSIS FOR ELECTROCHEMICAL ENERGY STORAGE SYSTEMS <i>Kuleshov N.V., Kuleshov V.N., Kurochkin S.V., Gavrilyuk A.A., Tyutrina S.V.</i>	94

INVESTIGATION OF A TASK MANAGER MODEL WITH A DISTRIBUTED QUEUE OF A RECONFIGURABLE COMPUTING SYSTEM <i>Martyshkin A.I.</i>	100
DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR DATA ACCUMULATION BY MEANS OF STEREO PAIRS AND DETECTION OF ROADWAY DEFECTS <i>Polyantseva K.A.</i>	107
BREAKING DOWN WALLS OR IMPLEMENTING A PROJECT AS A METHOD TO OVERCOME THE INERTIA OF THINKING <i>Kharitonov D.V., Blinov A.N., Anashkin D.A.</i>	113
NETWORK MODELING USAGE IN THE PRODUCTION PROCESSES' OPTIMIZATION AT LIGHT INDUSTRY ENTERPRISES <i>Shikov P.A., Nikitina L.N., Shikov Yu.A.</i>	119

Pedagogical sciences (5.8.1, 5.8.1 (13.00.05), 5.8.2, 5.8.3, 5.8.4 (13.00.04), 5.8.5 (13.00.04), 5.8.6 (13.00.04), 5.8.7)

ARTICLES

THE USE OF MESSENGERS IN THE EDUCATIONAL PROCESS <i>Bykov A.A., Kiseleva O.M.</i>	127
ABOUT THE ANTHROPOLOGICAL BASIS OF THE SELECTING ENTRANTS FOR PEDAGOGICAL FIELD OF STUDY <i>Vasenina A.Yu.</i>	132
THE CONCEPT OF IMPROVING THE TRAINING PROCESS AND THE DEVELOPMENT OF SWIMMING IN FINS <i>Dudchenko P.P.</i>	138
DETERMINATION OF EFFECTIVENESS IN THE INDEPENDENT WORK ORGANIZATION FOR STUDENTS OF SECONDARY VOCATIONAL EDUCATION IN THE QUALITY ASSURANCE SYSTEM OF EDUCATION <i>Kozhevnikova L.M., Olentsova Yu.A., Fedorova M.A.</i>	144
SOME AXIOLOGICAL ASPECTS OF USING MODULAR TECHNOLOGY WHEN TRAINING TECHNICAL STUDENTS PSYCHOLOGICAL BASES OF INTELLECTUAL AND PERSONAL DEVELOPMENT <i>Ovchinnikova L.P., Mikhelkevich V.N.</i>	149
THE SPECIFICS OF THE DISCIPLINE «DRAWING» IN THE SYSTEM OF PROFESSIONAL TRAINING OF A FUTURE TEACHER <i>Ptitsyna E.V., Ostanina S.A., Antseva V.P.</i>	156
METHODOLOGICAL BASES AND PRINCIPLES FOR FORMING THE READINESS OF FUTURE ENGINEERS FOR SOCIAL AND PROFESSIONAL ADAPTATION <i>Tyukina A.V.</i>	161
DIDACTIC CAPABILITIES OF GOOGLE CLASSROOM AND DISCORD FOR ORGANIZING THE EDUCATIONAL PROCESS IN A DIGITAL EDUCATIONAL ENVIRONMENT <i>Firer A.V., Meleshko E.A., Sidorov V.V., Ponomareva A.O.</i>	166

СТАТЬИ

УДК 004.048:519.767.6

АЛГОРИТМЫ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ С ПРЕОПРЕДЕЛЕННОЙ СЕМАНТИКОЙ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ СЕМАНТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Ванюлин А.Н., Алексеева Н.Р.

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», Чебоксары,
e-mail: van-u-lin@yandex.ru

Системы с предопределенной семантикой являются достаточно универсальными при создании приложений для автоматизированной обработки текстов различного назначения. Основой таких систем является набор заранее определенных элементарных семантических элементов – сем. В самом простом варианте семы могут быть отдельные символы клавиатуры. Комбинация сем представляет смысл обрабатываемого текста. Такие комбинации можно представить в виде некоторого спектра, уникальность которого гарантирует распознавание смысла как отдельных фраз, так и текста в целом. В настоящей работе для создания подобных систем предлагается другой вариант – на основе концепции семантических полей. Данный подход является несколько более обоснованным с точки зрения данных о механизмах мышления человеческого мозга. Рассмотрены алгоритмы построения подобных систем, описана процедура обучения, рассмотрены вопросы создания диалоговых систем на их основе. Показано, что при обработке текстов системой учитываются практически все особенности естественного языка. Так же как и при использовании семантических спектров, эксперименты с программным прототипом показывают, что при его работе автоматически учитываются основные особенности естественной речи и подтверждаются данные лингвистики о структуре предложений на естественном языке.

Ключевые слова: алгоритм, обработка текстов, предопределенная семантика, семантические поля, машинное обучение

ALGORITHMS FOR IMPLEMENTING SYSTEMS WITH PREDEFINED SEMANTICS BASED ON THE CONCEPT OF SEMANTIC FIELDS

Vanyulin A.N., Alekseeva N.R.

The Ulianov Chuvash State University, Cheboksary, e-mail: van-u-lin@yandex.ru

Systems with predefined semantics are quite versatile when creating applications for automated text processing for various purposes. The basis of such systems is a set of predefined elementary semantic elements – semes. In the simplest version, the semes can be individual keyboard characters. The combination of these represents the meaning of the text being processed. Such combinations can be represented in the form of a certain spectrum, the uniqueness of which guarantees the recognition of the meaning of both individual phrases and the text as a whole. In this paper, another option is proposed for the creation of such systems – based on the concept of semantic fields. This approach is somewhat more reasonable in terms of data on the mechanisms of thinking of the human brain. The algorithms of building such systems are considered, the training procedure is described, the issues of creating dialog systems based on them are considered. It is shown that when processing texts, the system takes into account almost all the features of the natural language. Just as with the use of semantic spectra, experiments with the program proto-type show that when it works, the main features of natural speech are automatically taken into account and linguistics data on the structure of sentences in natural language are confirmed.

Keywords: algorithm, text processing, predefined semantics, semantic fields, machine learning

В работах [1; 2] показано, что системы с предопределенной семантикой являются достаточно универсальными при создании приложений для автоматизированной обработки текстов различного назначения. Основой таких систем является набор заранее определенных элементарных семантических элементов – сем, комбинации которых формируют семантический спектр. В простейшем случае набором элементарных сем могут являться все символы клавиатуры.

Правило формирования спектра заключается в последовательном добавлении к итоговому спектру семантики очередного символа текста/слова. При этом начальное значение семы, номер которой совпадает с ASCII-кодом символа, равно единице,

а остальные семы равны нулю. При добавлении последующих символов производится корректировка всех сем итогового спектра по формуле:

$$S_{ii} = (S_{ii} + S_{s1}) / 2, \quad (1)$$

где S_{ii} – i -я сема текста;

S_{s1} – i -я сема очередного символа текста.

Полученный спектр характеризует смысл обрабатываемого текста. В качестве примера на рис. 1 представлен семантический спектр слова «привет». На виде спектра отражается действие формулы (1) – последний символ имеет максимальное значение, а первый – минимальное. Эта особенность спектра и позволяет учитывать порядок следования символов в тексте.

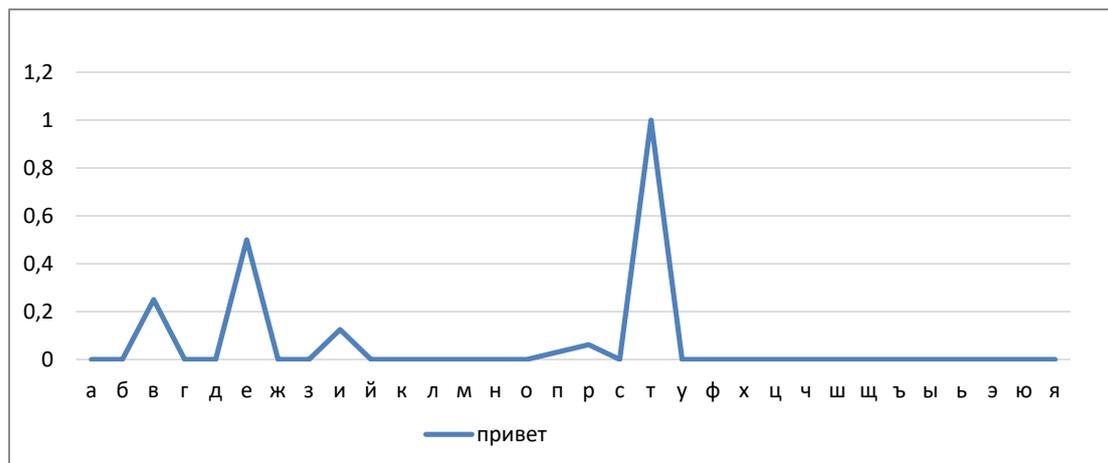


Рис. 1. Семантический спектр слова «привет»

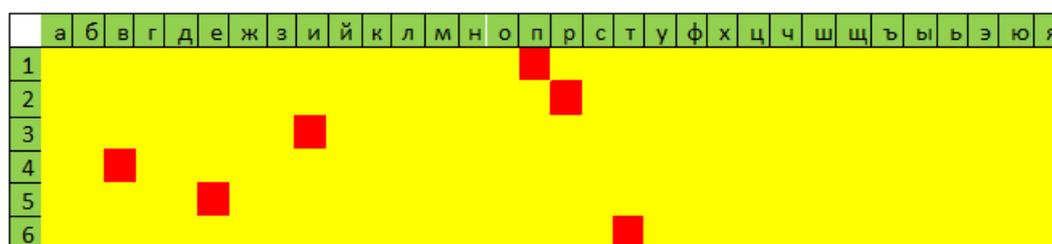


Рис. 2. Семантическое поле слова «привет»

Но возможен и другой вариант представления семантики текста – в виде двумерной матрицы или семантического поля. При этом колонки поля соответствуют отдельным семам, а строки – номеру семы в тексте. В качестве примера на рис. 2 в виде цветовой карты приведено семантическое поле для слова «привет». Здесь и далее изображения семантических полей приводятся только для диапазона русских букв.

В первоначальном состоянии все ячейки поля, соответствующие данной букве, равны единице, а остальные равны нулю.

Материалы и методы исследования

Одним из основных вопросов, связанных с созданием системы, является ее обучение. На начальных этапах «жизни» системы практически единственным методом обучения является обучение с учителем [3-5].

Алгоритмически этот процесс состоит из следующих этапов [6]:

1. На вход системы подается обучающая пара фраз (вопрос – ответ). Очевидным требованием к таким парам является практически полная завершенность диалога «вопрос – ответ».

2. Для введенной пары формируются соответствующие семантические поля.

3. Вопрос рассматривается системой как воздействие на нее внешней среды (в данном случае словесное). Ответ является реакцией системы на внешнее воздействие, которая нейтрализует это воздействие, т.е. семантические поля вопроса и ответа должны совпадать. Очевидно, что такое совпадение практически никогда не будет иметь места. Поэтому очередным этапом является корректировка указанных полей с целью достижения их равенства.

Для этого для каждой ячейки поля выполняется пересчет семантик по следующей цепочке формул:

сначала рассчитывается средняя семантика каждой пары ячеек:

$$s = (s_1 + s_2) / 2, \quad (2)$$

где s_1 и s_2 – соответствующие семантики вопроса и ответа.

Далее определяется разница в семантике:

$$ds = |s_1 - s_2| \quad (3)$$

и затем производится корректировка семантик по формулам:

$$s_1 = \begin{cases} s_1 + ds / 2, & \text{если } s_1 < s_2 \\ s_1 - ds / 2, & \text{если } s_1 > s_2 \end{cases}$$

$$s_2 = \begin{cases} s_2 - ds / 2, & \text{если } s_1 < s_2 \\ s_2 + ds / 2, & \text{если } s_1 > s_2 \end{cases} \quad (4)$$

При этом отметим, что особенно для ранних стадий обучения составление обучающих пар может оказаться далеко не простой задачей.

Связано это с тем, что естественный язык обладает таким свойством, как вариативность, т.е. вопросы и ответы с одинаковым содержанием и одинаковые по смыслу можно задать с помощью различных фраз. В качестве примера в таблице приведены возможные варианты пар вопросов и ответов для выяснения имени человека.

Варианты вопросов и ответов при формировании семантики запроса об имени человека

Варианты запросов об имени	Варианты ответов
как тебя звать?	Катя
каково твоё имя?	меня зовут Катя
как тебя называть?	мое имя Катя
как тебя можно называть?	вы можете называть меня Катя
как к тебе обращаться?	

Поэтому при обучении на вход системы подается не какая-то одна пара фраз, а поочередно все возможные комбинации пар. При этом получают обобщенные семантические поля как вопросов, так и ответов, и их приходится постоянно корректировать по уравнению (2).

Изображение обобщенных семантических полей запросов и ответов об имени показано на рис. 3.

Вид получаемых полей зависит от порядка подачи фраз вопросов и ответов. Приведенные на рис. 3 поля получены при том порядке ввода, который указан в таблице. При этом часть ячеек полей принимают произвольные значения из диапазона от нуля до единицы. Необходимо также отметить, что при многократной подаче одних и тех же фраз все значения ячеек полей становятся близкими к единице и порядок подачи перестает иметь какое-то значение.

После получения обобщенной семантики вопросов и ответов с помощью уравнений (2) – (4) производится ее корректировка. Результат корректировки показан на рис. 4.

В полученных таким образом полях строки, соответствующие отдельным словам, и являются обобщенной семантикой каждого конкретного слова. Эта информация используется затем для формирования двух баз данных (БД) – БД слов-вопросов и БД слов-ответов.

Для записи слов-ответов привлекается информация о структуре предложений [7].

Согласно [7] любую фразу на естественном языке можно представить в виде некоторой структуры. Например, предложение «полученный спектр характеризует смысл обрабатываемого текста» (взято из данной публикации) можно представить в виде следующей структуры – рис. 5. При таком представлении во фразе, выделяются группы подлежащего, сказуемого, дополнений и т.д., и, во-вторых, показываются отношения их подчиненности. Для лингвистов подобное представление – это просто удобный и наглядный способ показать взаимоотношения между словами в предложении.

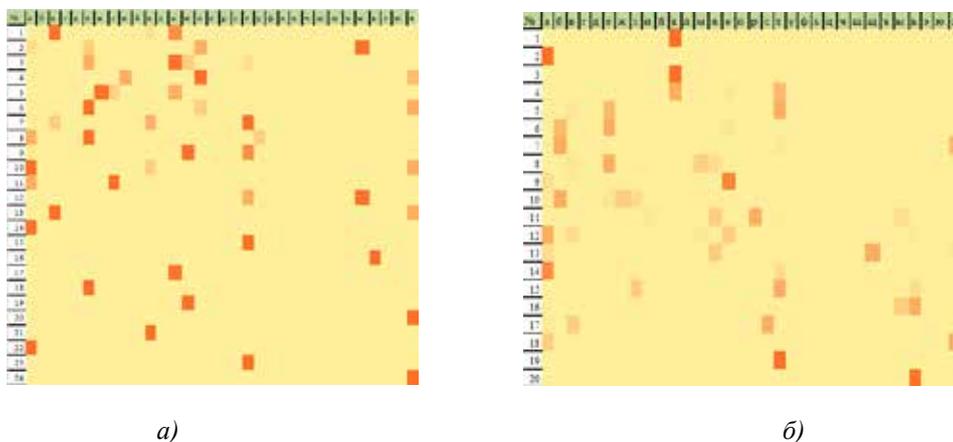


Рис. 3. Вид семантических полей для фраз-запросов (а) и фраз-ответов (б), представленных в таблице

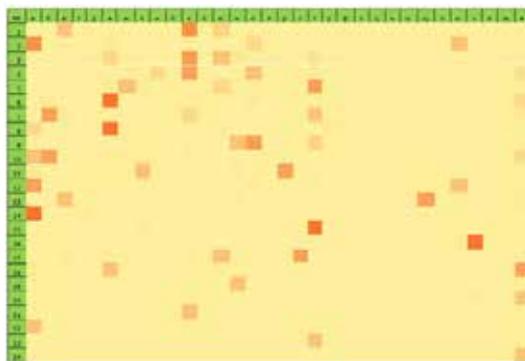


Рис. 4. Откорректированное семантическое поле запросов и ответов об имени человека

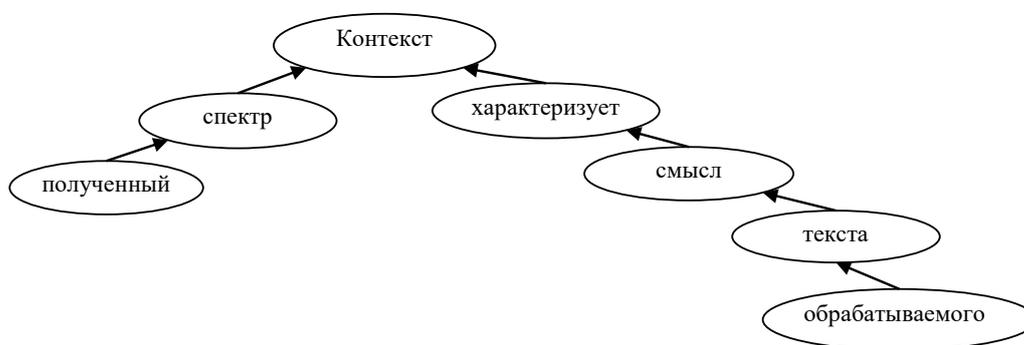


Рис. 5. Представление структуры фразы в виде дерева отношений

В данном же случае отношения между словами показывают порядок слияния семантических полей отдельных слов в общее семантическое поле фразы. При этом различный порядок слияния обеспечивает уникальность итоговой семантики фразы.

Поэтому в БД слов-вопросов записывается информация следующей структуры:

```

{
  UpField: tField;
  SlovoForma: string;
  SlovoField: tField;
}
  
```

(5)

где UpField – семантическое поле вышедшей словоформы;

SlovoForma – текущее слово;

SlovoField – семантическое поле текущего слова.

Отметим также, что запись результатов обучения в виде указанной структуры автоматически реализует и такое свойство естественного языка, как полисемия, т.е. зависимость смысла слова от лексического окружения.

В этом отношении показательна ситуация со словом «клятя». При комбинировании различных вариантов вопросов и ответов это слово двадцать раз встречается

в различных по структуре фразах, и оно находится на разных местах с различной собственной и предшествующей семантикой. Но в БД оно записывается только один раз в усредненном по семантике варианте, поскольку смысл всех двадцати комбинаций «вопрос – ответ» одинаковый. Если же данное слово встречается во фразах с другим смыслом, то оно записывается в БД дополнительно, но уже с другой семантикой.

Для записи слов-ответов формируется следующая структура:

```

{
  QuestionField: tField;
  SlovoForma: string;
  SlovoField: tField;
}
  
```

(6)

где QuestionField – семантическое поле запроса;

SlovoForma – слово;

SlovoField – семантическое поле данного слова.

Результаты исследования и их обсуждение

Сформированные таким образом БД используются затем при самостоятельной работе системы. Например, при реализа-

ции диалога работа происходит по следующей схеме:

1. В систему вводится вопрос.
2. Текст вопроса разбивается на слова.
3. Для каждого слова из БД считывается информация о его собственной и предшествующей семантике. Если таких словоформ несколько, то считываются все.

4. Для формирования семантики вопроса строится дерево распознавания.

4.1. Для этого берется первое слово и в тексте ищется слово, для которого предшествующая семантика текущего слова наиболее согласована с семантикой искомого слова.

4.2. Семантика таких слов обобщается.

4.3. Берется следующее, не использованное слово и повторяются операции 4.1–4.2.

4.4. Операции 4.1–4.3 повторяются до тех пор, пока не будут обработаны все слова текста вопроса.

5. Формируется ответ системы.

5.1. Для этого берется семантика запроса и в БД слов-ответов ищется слово, с наиболее близкой семантикой по полю QuestionField (6).

5.2. Из семантики запроса вычитается семантика найденного слова. Результат вычитания рассматривается как новый запрос.

5.3. Операции 5.1, 5.2 повторяются до тех пор, пока не будет полностью обнулена семантика запроса.

Из приведенной схемы следует, что как процесс распознавания смысла текста, так и процесс генерации ответа носят вероятностный характер, поскольку невозможно обеспечить точное равенство семантических полей слов предложения и слов, находящихся в БД.

Тем не менее эксперименты показывают, что система достаточно хорошо распознает смысл вопросов даже при относительно небольшом размере БД слов-вопросов (если, конечно, слова относятся к той предметной области, для которой система обучалась).

Намного сложнее обстоит ситуация с генерацией ответов.

Если речь идет о диалоге с техническо-командной системой, то достаточно будет провести обучение, в котором реализованы все возможные варианты ответов [8; 9]. Тогда генерация ответа будет сводиться к поиску в БД ответов записи, семантика которой наиболее согласована с семантикой вопроса.

Если же планируется создание системы, способной к ведению произвольных диалогов, то для получения осмысленных ответов необходимо создавать БД ответов по размерам, существенно большим, чем БД запросов.

Заключение

В публикации предложен новый подход к созданию интеллектуальных систем на основе понятия семантических полей. Введенное понятие позволяет учитывать не только наличие в тексте определенных символов, но и порядок их следования. При этом возможно построение семантических полей не только для отдельных слов, но и для текстов любых размеров.

Описана процедура начального обучения системы. На примерах показаны основные этапы обучения и особенности получаемых результатов. Одной из главных особенностей результатов является их соответствие данным лингвистики. В частности, это явление полисемии и зависимость смысла слов от лексического окружения.

Также показано, что данные, полученные в результате обучения, могут быть использованы для распознавания смысла текста и генерации ответов. Описанные при этом процедуры распознавания и генерации текстов могут быть использованы для создания простейших типов диалоговых систем.

Список литературы

1. Ванюлин А.Н., Алексеева Н.Р., Мочалова Т.А. Лингвистические основы алгоритмов компьютерной обработки текстов на основе систем с предопределенной семантикой // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 3. С. 35–39.
2. Ванюлин А.Н., Шабалина Т.А. Особенности текстов на естественном языке при их компьютерной обработке // Состояние и перспективы развития ИТ-образования: сб. докл. и научн. ст. Всероссийской научн.-практ. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. С. 377–381.
3. Лимановская О.В., Алферьева Т.И. Основы машинного обучения: учебное пособие. Екатеринбург: изд-во Урал. ун-та, 2020. 88 с.
4. Люгер Джордж Ф. Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем, 4-е издание: пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 864 с.
5. Вьюгин В.В. Математические основы теории машинного обучения и прогнозирования. М., 2013. 387 с.
6. Vanyulin A.N., Zvereva E.A., Lavina T.A., Mochalova T.A., Alekseeva N.R. Realization Algorithms of Major Types of Linguistic Processors Based on the Systems with Predefined Semantics. 2020 Global Smart Industry Conference (GloSIC), Chelyabinsk. 2020. P. 132-138. DOI: 10.1109/GloSIC50886.2020.9267857.
7. Касаткин Л.Л., Клобуков Е.В., Крысин Л.П., Лекант П.А. Русский язык: учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / под ред. Л.Л. Касаткина. 4-е изд., перераб. М.: Издательский центр «Академия», 2011. 780 с.
8. Горковенко Д.К. Применение методов text mining для классификации информации, распространяемой в социальных сетях // Молодой ученый. 2016. №14 (118). С. 66–72. URL: <https://moluch.ru/archive/118/32878/> (дата обращения: 10.03.2022).
9. Daniel Jurafsky, James H. Martin. Speech and Language Processing. An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition. 2019. 613 p. [Электронный ресурс]. URL: <https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3/ed3book.pdf> (дата обращения: 20.01.2022).

УДК 681.5:621.8.023

ВЗАИМОСВЯЗАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ЭКЗОСКЕЛЕТА

Веселов О.В., Баталов А.В., Логинов Д.Д.*ГОУ ВПО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых»,
Владимир, e-mail: 010848_j@mail.ru*

Создание специальных устройств передачи нагрузки при переносе человеком груза через внешний каркас, экзоскелет – динамично развивающееся направление. Анатомические характеристики человеческого тела и конструкция механического устройства образуют биомеханическую систему. Поэтому сложность создания экзоскелета, кроме конструктивных особенностей, связана с синхронизацией подсистем: нейробиологической, механической, приводной и электронной. Известны различные структуры взаимосвязанного управления, в которых взаимосвязь устанавливается либо в отношении скорости, либо положения. В статье рассматривается взаимосвязанное управление одновременно и по скорости и положению. При этом взаимосвязь реализуется с использованием нечетких контроллеров. Нечеткий контроллер используется и для обработки сигналов мышечной активности. Нечеткий контроллер, реализующий взаимосвязь, использует терм множества, полученные в результате исследования сигналов скорости и положения, и их связь между ведущей и ведомой координатами. В качестве функции принадлежности используются нелинейные. Обработка сигналов мышечной активности, снимаемой с использованием миографических датчиков, происходит в нечетком контроллере, связывающем группы мышц в режиме сгибания и разгибания. Построение нечеткого контроллера обработки мышечной активности требует детального выбора функции принадлежности и обучающих данных. Функции активации выходных сигналов являются линейными. Выполненное моделирование взаимосвязанных приводов по приведенной структуре подтверждает эффективность функционирования.

Ключевые слова: экзоскелет, электромеханическая система, привод, взаимосвязь, нечеткий контроллер

CONTROL OF INTERCONNECTED EXOSKELETON ACTUATORS

Veselov O.V., Batalov A.V., Loginov D.D.*Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov, Vladimir, e-mail: 010848_j@mail.ru*

Creation of special load transfer devices when a person carries a load through an external frame, an exoskeleton, is a dynamically developing trend. Anatomical characteristics of the human body and design of the mechanical device, form a biomechanical system. Therefore, the complexity of creating an exoskeleton, in addition to the design features, is related to the synchronization of subsystems: neurobiological, mechanical, actuator and electronic. Various interconnected control structures are known in which the interconnection is established either in terms of speed or position. The paper considers interconnected control in terms of both velocity and position at the same time. And the interconnection is realized using fuzzy controllers. Fuzzy controller is also used to process muscle activity signals. Fuzzy controller realizing the interconnection uses the term sets obtained from the study of speed and position signals and their relationship between the master and slave coordinates. The nonlinear ones are used as an accessory function. Processing of muscle activity signals captured using myographic sensors takes place in a fuzzy controller linking muscle groups in flexion and extension mode. Building a fuzzy controller for muscle activity processing requires detailed selection of the affiliation function and training data. The output activation functions are linear. The performed simulation of the interrelated actuators according to the given structure confirms the effectiveness of the functioning.

Keywords: exoskeleton, electromechanical system, actuators, interconnection, fuzzy controller

Разработанные еще век назад принципы передачи нагрузки при переносе человеком груза через внешний каркас с начала 2000-х гг. получили новое воплощение. В создании подобных устройств в равной степени заинтересованы военные, представители медицинской сферы, промышленность и космическая отрасль. Особенно важно применение экзоскелетов в задачах адаптации человека в социуме. Число нуждающихся в экзоскелетах в нашей стране составляет примерно один процент (это около полутора миллионов человек). В медицине экзоскелеты являются универсальным инструментом, помогающим при снижении у пациентов мышечной силы, если есть необходимость уменьшить нагрузку

на позвоночник во время тренировок спортсменам, реабилитироваться после травм, самостоятельно передвигаться детям с церебральным параличом, травмами мозга, повреждениями спинного мозга, мышечной дистрофией, после инсульта и при других заболеваниях. В России и за рубежом вопросу построения подобных систем уделяют внимание огромное число научных центров и организаций [1–3]. Так, например, российская компания ExoAtlet предлагает медицинские экзоскелеты для реабилитации пациентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата и нервной системы в нижней части тела. Они управляются при помощи кнопок, расположенных на кофтылях, и приводятся в движение благодаря

сигналам от датчиков и электромиограммы. Алгоритмы устройства и встроенные приводы повторяют естественную ходьбу человека. EchoAtlet весит около 20 кг, при этом пациент не ощущает этот вес, поскольку движения автоматизированы и поддерживаются самой системой. Стоимость экзоскелета высока.

Анатомические характеристики человеческого тела и параметры механического устройства, каркаса образуют биомеханическую систему. Поэтому сложность создания экзоскелета, кроме конструктивных особенностей, связана с синхронизацией подсистем: нейробиологической, механической, приводной и электронной.

Отметим важнейшие особенности при создании новых моделей экзоскелетов. Необходимо создание обратной связи между телом человека и каркасом, преобразуя нейронную активность в команды мышцам. В отдельных случаях важно создание дополнительных усилий при совершении элементарных действий. При создании систем управления экзоскелетом обеспечить снижение противоречивости между нервной и мышечной активностью и работой исполнительных систем. И, наконец, использование методов искусственного интеллекта. Очевидно, что использование методов искусственного интеллекта в создании экзоскелетов позволит перейти на новый уровень взаимодействия различных подсистем, особенно в задачах принятия решений в процессе управления.

Перемещение элементов каркаса, инициируемого телом человека, основано на использовании приводной техники с различной природой рабочего тела. Наибольший удельный вес применения в конструкциях характерен для электроприводов, несмотря на ограничение возможностей при использовании автономных источников питания. Современный автоматизированный электропривод является одним из основных технических средств, используемых при решении задачи автоматизации различных технологических процессов и поэтому для проектируемых в настоящее время технологических машин характерно увеличение количества электродвигателей в одной рабочей машине, усложнение функций, выполняемых электроприводами, а также взаимная увязка этих функций в едином автоматическом цикле работы. Решение можно искать в обеспечении взаимосвязанного управления приводами отдельных подвижностей.

Число научных публикаций в рассматриваемой области незначительное из-за со-

хранения конфиденциальности результатов. В большей степени информация представлена в виде рисунков и видеороликов.

Исследование функционирования взаимосвязанных приводов нижних конечностей экзоскелета с одновременным регулированием положения и скорости ведомых приводов.

Материалы и методы исследования

Каркас экзоскелета конструктивно напоминает многостепенную робототехническую систему. Как и в любой технологической машине, обеспечивающей перемещение исполнительных механизмов, в каркасе используются приводные, измерительные и управляющие системы. Это дает возможность использовать в решении задач известные методы из области робототехники, но с учетом особенностей предметной области (объекта управления) [4]. По существу каркас является конструкцией, параллельной костной системе. В силу симметричности каркаса будем рассматривать одну из сторон нижних конечностей человека с особенностями локального управления тазобедренным, коленным и голеностопным суставами. Глобальное управление движением не рассматривается.

В последнее время наиболее широко исследуются приводы рабочей машины, взаимосвязанные через нагрузку. Взаимосвязь подобного рода возникает в тех случаях, когда силовой рабочий процесс состоит из двух или нескольких одновременных движений, осуществляемых от индивидуальных электроприводов. При этом момент сопротивления каждого из движений может зависеть от соотношения скоростей движения, алгебраической суммы этих скоростей или соотношения путей, проходимых при совершении этих движений. Весьма отчетливо эта взаимосвязь проявляется при управлении технологическими роботами, в том числе экзоскелетом. Подобного типа построенные системы можно разделить на две большие группы: электроприводы с одним базовым регулятором скорости, который служит ведущим для всех остальных, и электроприводы с взаимной коррекцией скоростей. Принципиальная разница между ними заключается в том, что первую группу образуют системы с так называемыми односторонними связями, а ко второй группе относятся системы с двусторонними связями.

Структурная схема системы многодвигательного электропривода с базовым регулятором скорости представлена на рис. 1. На рис. 1, а, показана структурная схема

электропривода, в которой управление группой электроприводов осуществляется от одного ведущего привода, а на рис. 1, б, структурная схема электропривода, в котором воздействие на ведомые электроприводы формируется из сигналов, пропорциональных скоростям вращения нескольких ведущих электроприводов.

Первый вариант этой схемы можно определить как электропривод с параллельным управлением ведомыми электроприводами. Второй вариант схемы по такой классификации можно назвать электроприводом с последовательно-параллельным управлением ведомыми электроприводами. Как следует из структурной схемы, показанной на рис. 1, а, статические соотношения скоростей в режиме холостого хода определяются выражениями

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{K_{OC2}}{K_{OC1} \cdot K_{32}}; \quad \frac{n_1}{n_3} = \frac{K_{OC3}}{K_{OC1} \cdot K_{33}},$$

где K_{32} и K_{33} – статические коэффициенты передачи, соответствующие передаточным функциям преобразователей $W_{32}(p)$ и $W_{33}(p)$ соответственно.

При наличии моментов сопротивлений на выходных валах соотношение скоростей определяется выражениями

$$n_1 \cdot K_{32} \cdot K_{OC1} = \frac{K_{П2} \cdot K_{Д2}}{1 + K_{C2}} \cdot n_2 + \frac{K_{ДМ2}}{1 + K_{C2}} \cdot M_{C2};$$

$$n_1 \cdot K_{33} \cdot K_{OC1} = \frac{K_{П3} \cdot K_{Д3}}{1 + K_{C3}} \cdot n_3 + \frac{K_{ДМ3}}{1 + K_{C3}} \cdot M_{C3},$$

где $K_{ДМ2}$; $K_{ДМ3}$ – коэффициенты передачи двигателей по моменту на валу;

$K_{Ci} = K_{Ni} \times K_{Дi} \times K_{OCi}$ – коэффициент усиления сепаратной системы.

Структурная схема, показанная на рис. 1, б, не имеет сколько-нибудь заметных преимуществ перед предыдущей, за исключением тех случаев, когда моменты сопротивления второго и третьего электроприводов близки по величине как в установившихся, так и переходных режимах. В этом случае введение дополнительной связи второго электропривода с третьим делает соотношение скоростей, n_2 , и n_3 более близким.

В отличие от электроприводов с базовым регулятором электроприводы с взаимной коррекцией скоростей обычно используются в тех случаях, когда регулируемые скорости являются функционально равнозначными. Здесь результирующая скорость является геометрической суммой скоростей, причем выделить одну из этих скоростей как основную невозможно. Структурная схема такой взаимосвязанной системы представлена на рис. 2.

Здесь для повышения точности взаимосвязанной системы в целом предусмотрены перекрестные межканальные связи с передаточными функциями $W_{12}(p)$, и $W_{21}(p)$, вводимые для повышения точности при динамических изменениях скоростей n_1 и n_2 .

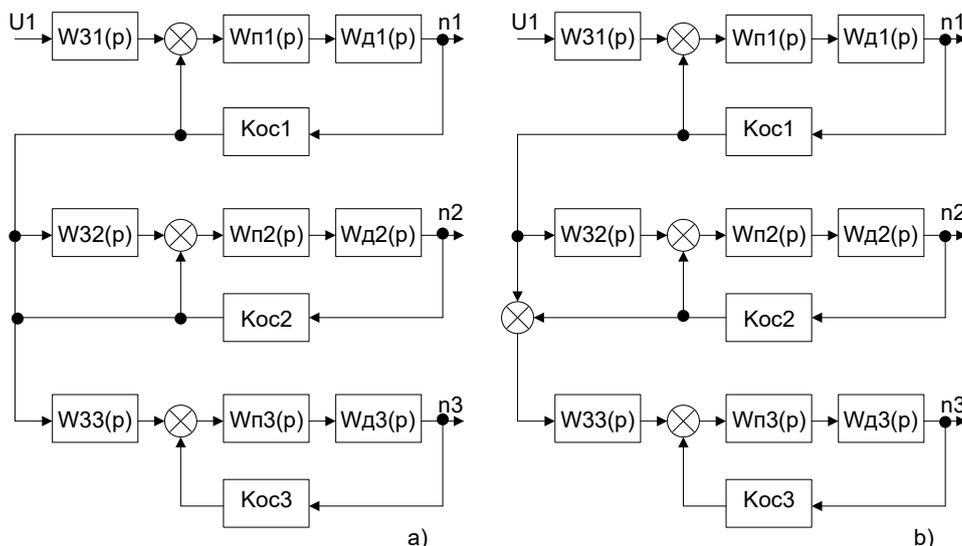


Рис. 1. Структурные схемы электроприводов с базовым регулятором скорости: а) с параллельным управлением; б) с последовательно-параллельным управлением ($W_{31}(p)$, $W_{32}(p)$, $W_{33}(p)$) – передаточные функции звеньев задания скорости; n_1 , n_2 , n_3 – скорости вращения двигателей; U_1 – управляющий сигнал задатчика скорости ведущего привода; $W_{Дi}(p)$ – передаточные функции двигателей; $W_{Пi}(p)$ – передаточные функции преобразователей; K_{oc} коэффициенты передачи обратных связей

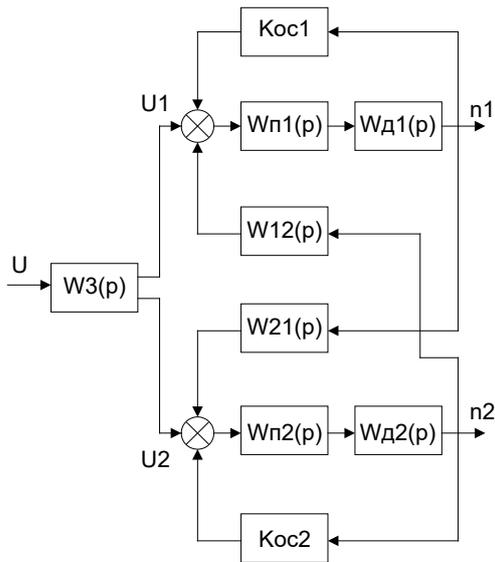


Рис. 2. Структурная схема электроприводов с взаимосвязанной коррекцией скоростей: n_1, n_2 – скорости вращения двигателей; U, U_1, U_2 – управляющие воздействия; $W_3(p)$ – передаточная функция задатчика скорости; $W_{п1}(p)$ – передаточные функции двигателей; $W_{п2}(p)$ – передаточные функции преобразователей; $K_{ос}$ – коэффициенты передачи обратных связей; $W_{12}(p), W_{21}(p)$ – передаточные функции корректирующих связей

Рассмотренные структуры решают задачи взаимосвязи либо по скорости либо по положению. В нашей задаче нужна такая структура взаимосвязей, при которой учитываются и скорость, и перемещение одновременно. Функциональная схема такого подхода приведена на рис. 3. Она состоит из трех автономных приводов системы управления, которые связаны между собой последовательно через нечеткие контроллеры НК1 и НК2 [5]. Входными сигналами на приводы являются сигналы, получаемые от датчиков мышечной активности, обработанные с помощью нечеткого контроллера НК3.

Схема работает следующим образом. На вход ведущего привода подается сигнал с ДМА тазобедренного сустава и формируется закон изменения скорости движителя этого сустава. Одновременно по функциональной зависимости вычисляются в НК1 значение сигнала положения и скорости движителя коленного сустава и подают вычисленное значение сигнала на вход НК1 с учетом сигнала мышечной активности получаемого с контроллера НК3, а затем на регулятор положения привода коленного сустава. Аналогично осуществляется связь с приводом движителя голеностопного сустава.

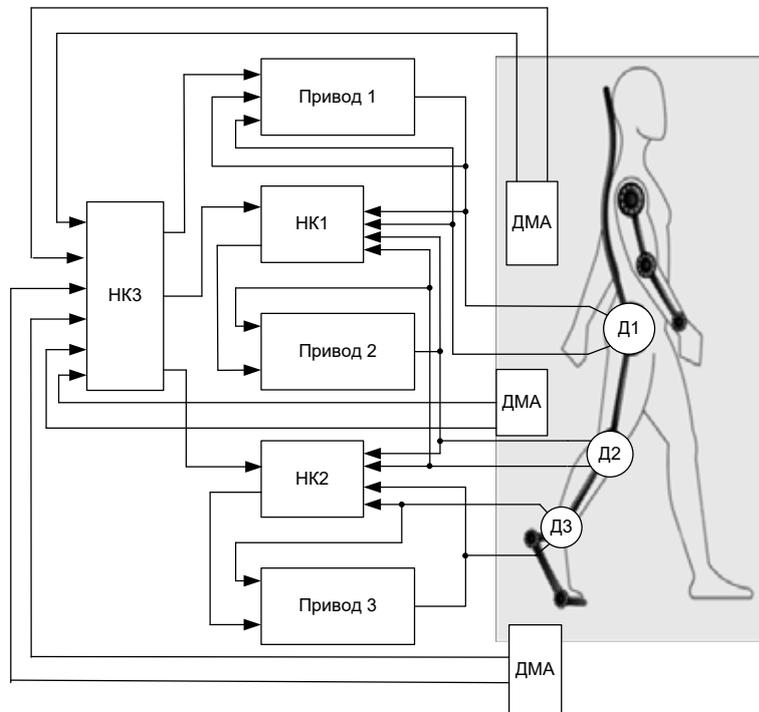


Рис. 3. Функциональная схема управления взаимосвязанными приводами: ДМА – датчики мышечной активности, Д1, Д2, Д3 – движители суставов, НК1, НК2, НК3 – нечеткие контроллеры

Результаты исследования и их обсуждение

Исследование принципа работы рассматриваемой схемы проводилось с использованием пакета Simulink программной среды Matlab. Отметим сразу, что в рассматриваемом случае ставилась задача обеспечить движение эквивалентное одному шагу (рис. 4). Приводы суставов построены однотипно и представляют собой трехконтурную структуру подчиненного регулирования в двигателе постоянного тока. Режим работы следящий. Приводы настроены на максимальное быстродействие, устойчивы и не имеют перерегулирования.

Нечеткие контроллеры НК1 и НК2 также имеют однотипную структуру. Имеют четыре входа и один выход. Два входных сигнала снимаются с ведомого привода и два с ведущего. База знаний строилась на основе информации, снимаемой с датчиков скорости и положения при различных условиях нагружения и положения с учетом общего центра масс. Дополнительный пятый вход несет информацию о величине напряжения пропорциональной суммарной силе возникающей при выполнении определенных действий. Функции принадлежности выбираются так, чтобы обеспечить необходимую функциональную связь. Таким образом на вход НК поступает информация о пространственном расположении соответствующих подвижностей каркаса (ведущего и ведомого приводов), скоростей их перемещения и величины задания передаваемой на привод с контроллера НК3.

Контроллер НК3 собирает информацию с миографических датчиков, уста-

новленных на активных мышцах бедра, голени и стопы. Контроллер имеет семь входов, по числу датчиков, установленных на соответствующих мышцах, и три выхода, по числу используемых приводов. Терм множества формируются на основе активности следующих мышц нижних конечностей: двуглавой (сгибание), полусухожильной (разгибание), икроножной (сгибание и разгибание), латеральной (разгибание), прямой мышцы бедра (сгибание и разгибания), медиальной (разгибание) и передней большеберцовой (сгибание). Существенную роль в построении нечеткого контроллера играет выбор функции активации. Как следует из рис. 5, форма сигнала (рис. 5, б) требует использования нелинейных функций активации. Кроме того, сам сигнал в значительной степени зависит от физиологических особенностей пользователя. Влияние шумов (рис. 5, б) еще больше обостряет задачу выбора функции активации. Поэтому достоверность результата в сильной степени зависит от выбора вида функции принадлежности.

При выполнении движений между ними существует связь, которая используется для создания правил. Объединяются мышцы, одновременно выполняющие функции сгибания или разгибания. В зависимости от этого формируются терм множества выходных сигналов для приводов. Функции принадлежности выходных сигналов могут быть и линейными.

Для проверки функционирования приводов суставов сформирован аналог одного шага. Реакция на воздействие представлена на рис. 4.

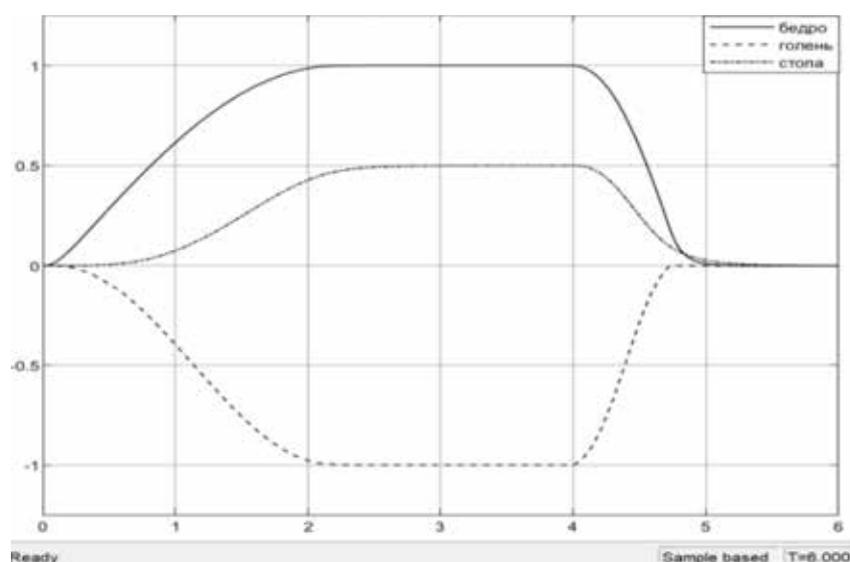


Рис. 4. Перемещение элементов каркаса экзоскелета

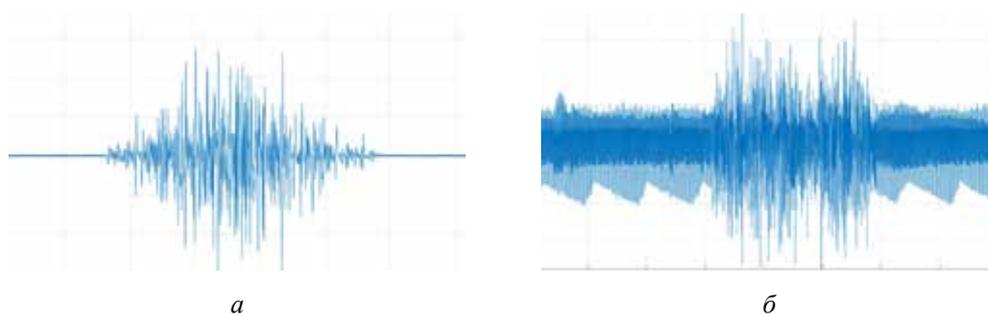


Рис. 5. Форма сигнала: а – в отсутствии помех, б – на фоне шумов

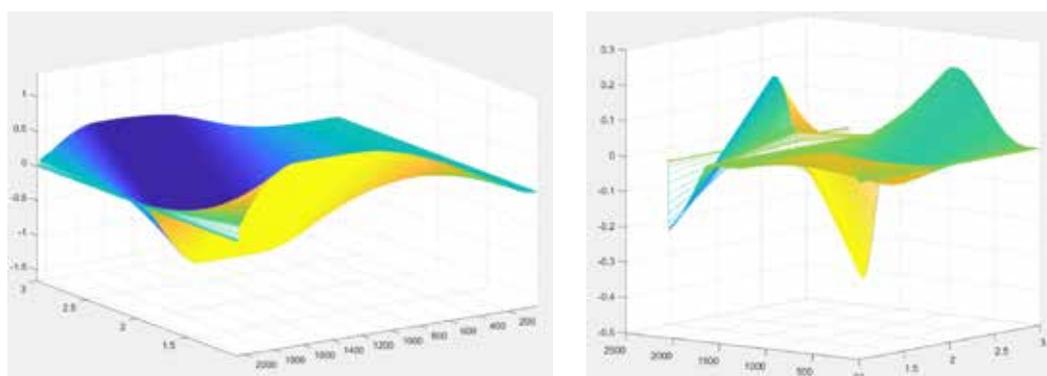


Рис. 6. Поверхности выхода: а – скорость, б – положение.

Цикл длится 6 с. Процесс состоит из подъема бедренного аналога берцовой кости в течение 2 с, опускания голеностопного сустава с задержкой на 0,2 с и подъема стопы с задержкой в 0,8 с. В течение 2 с суставы остаются неподвижными, и затем формируется сигнал, эквивалентный срабатыванию разгибательных мышц и суставы приходят в исходное положение. Поверхности выхода, описывающие режим движения одновременно по скорости и положению всех суставов, представлены на рис. 6.

Таким образом, рассмотренная структура позволяет обеспечить взаимосвязанное движение суставов каркаса с заданными параметрами регулирования положения и скорости.

Заключение

Отличительные особенности предлагаемого решения заключаются в реализации функционального взаимодействия между ведомой и ведущей координатами, причем каждый предыдущий привод становится ведущим для каждого последующего. Наличие регулятора положения и устройства расчета положения обеспечивает движение во взаимосвязи по траекториям в пространстве координат со стабилизацией скорости

относительно ведущей координаты. Обеспечивается расчет скорости и её коррекция в каждый момент времени во всех точках траектории движения, относительно ведущей координаты. Рассмотренная структура взаимосвязанных приводов может быть использована и для обеспечения движения каркасом рук.

Список литературы

1. Ефимов А., Орлов И. Homo Extensis. Расширяя возможности человека, или как совместить человека и робота. Лаборатории робототехники Сбербанка [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/company/sberbank/blog/416621/> (дата обращения: 15.04.2022).
2. Вережкин А.А. К вопросу применения экзоскелетов в промышленной и строительной сфере / Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, кафедра «Гидромеханика, гидромашин и гидропневмоавтоматика» [Электронный ресурс]. URL.: <http://www.str-t.ru/reports/18/> (дата обращения: 15.04.2022).
3. Экзоскелеты: принцип действия, конструкция, применение [Электронный ресурс]. URL: <https://top3dshop.ru/blog/exoskeleton-explained-review.html> (дата обращения: 15.04.2022).
4. Иванов А.А. Основы робототехники: учебное пособие. М.: НИЦ ИНФРА, 2019. 223 с.
5. Бобырь М.В. Теоретические основы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами на основе нечеткой логики. Старый Оскол: Тонкие наукоемкие технологии, 2019. 234 с.

УДК 519.65

ЧАСТОТНАЯ МОДЕЛЬ СГЛАЖИВАЮЩЕГО КУБИЧЕСКОГО СПЛАЙНА И ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Воскобойников Ю.Е.

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)», Новосибирск, e-mail: voscob@mail.ru;

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»,
Новосибирск, e-mail: voscob@mail.ru

Сглаживающий кубический сплайн дефекта единица является достаточно универсальным и эффективным инструментом для фильтрации шумов измерения различной статистической природы, и поэтому сплайн часто используется при обработке экспериментальных данных. Такая популярность отчасти обусловлена тем, что на всем интервале определения сплайна его первая и вторая производные непрерывны и поэтому сплайн можно использовать не только для фильтрации шума (погрешностей) измерения, но и для устойчивого вычисления первой производной по зашумленным значениям обрабатываемой функции. Сплайн имеет некоторый управляющий параметр – параметр сглаживания, от величины которого существенно зависит ошибка сглаживания зашумленных данных и выбор которого является основной проблемой при использовании сглаживающих сплайнов на практике. Предложены несколько алгоритмов выбора, позволяющие с приемлемой для практики точностью оценить оптимальное значение параметра сглаживания, при котором ошибка сглаживания минимальна. Однако такой подход к построению сплайна не позволяет анализировать и синтезировать сглаживающий сплайн как фильтр низкой частоты, которым сплайн по принципу своей работы и является. Поэтому в данной работе предлагается частотная модель сглаживающего кубического сплайна, в которую входят основные параметры сплайна, включая и параметр сглаживания. Получены амплитудно-частотная характеристика сплайна и импульсная переходная функция сплайна – аппаратная функция сплайна. Введены понятия эквивалентная ширина аппаратной функции и разрешающая способность сплайна. Приводится пример выбора параметра сглаживания из решения задачи синтеза сплайна с заданной величиной эквивалентной ширины аппаратной функции.

Ключевые слова: сглаживающий кубический сплайн, частотная модель сплайна, разрешающая способность сплайна, выбор параметра сглаживания из решения задачи синтеза сплайна

FREQUENCY MODEL OF A SMOOTHING CUBIC SPLINE AND IT'S CHARACTERISTICS

Voskoboynikov Yu.E.

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin),
Novosibirsk, e-mail: voscob@mail.ru;

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, e-mail: voscob@mail.ru

The smoothing cubic defect spline unit is a fairly versatile and effective tool for filtering measurement noise of various statistical nature, and therefore the spline is often used in the processing of experimental data. This popularity of the part is due to the fact that the first and second derivatives of the spline are continuous over the entire interval of the definition of the spline, and therefore the spline can be used not only to filter the noise (errors) of the measurement, but also for the stable calculation of the first derivative from the noisy values of the processed function. The spline has a certain control parameter – the smoothing parameter, on the value of which the error of smoothing noisy data depends significantly and the choice of which is the main problem when using smoothing splines in practice. Several selection algorithms are proposed that allow estimating the optimal value of the smoothing parameter with an accuracy acceptable for practice, at which the smoothing error is minimal. However, such an approach to the construction of a spline does not allow analyzing and synthesizing a smoothing spline as a low-frequency filter, which the spline is by the principle of its operation. Therefore, in this paper we propose a frequency model of a smoothing cubic spline, which includes the main parameters of the spline, including the smoothing parameter. The amplitude-frequency characteristic of the spline and the pulse transient function of the spline – the hardware function of the spline – are obtained. The concepts of the equivalent width of the hardware function and the resolution of the spline are introduced. An example of the choice of the smoothing parameter from the solution of the problem of spline synthesis with a given resolution is given.

Keywords: smoothing cubic spline, frequency model of the spline, resolution of the spline, the choice of the smoothing parameter from the solution of the problem of synthesis of the spline

Сглаживающие кубические сплайны (СКС) находят широкое применение для фильтрации шумов измерений экспериментальных данных или, другими словами, для сглаживания зашумленных данных [1, 2]. К основному преимуществу СКС по сравнению с другими алгоритмами фильтрации можно отнести тот факт, что сглаживающий

сплайн и его первые две производные являются непрерывными функциями на всем интервале построения сплайна. Это позволяет использовать СКС для устойчивого вычисления производных по зашумленным измерениям обрабатываемой функции, в частности в задачах непараметрической идентификации как линейных [3–5], так и нелинейных

[6, 7] динамических систем. Для последнего класса систем СКС используется для вычисления смешанных производных [8]. СКС имеет некоторый управляющий параметр – параметр сглаживания, от величины которого существенно зависит ошибка сглаживания зашумленных данных [2, 9]. Выбор этого параметра является основной проблемой при использовании сглаживающих сплайнов на практике. Предложены несколько алгоритмов выбора, позволяющие с приемлемой для практики точностью оценить оптимальное значение параметра сглаживания (ошибка сглаживания минимальна) при различной априорной информации о дисперсии шума измерений [2, 8]. Хотя СКС по принципу своей работы является низкочастотным фильтром (удаляющим высокочастотные – шумовые составляющие обрабатываемого сигнала) традиционный подход к построению СКС не позволяет интерпретировать СКС как такой фильтр и, как следствие, решать задачи анализа и синтеза СКС в терминах низкочастотного фильтра и его характеристик, которые естественны и понятны экспериментатору.

Поэтому в данной работе предлагается частотная модель СКС и вводятся динамические характеристики СКС, позволяющие решать задачи анализа и синтеза СКС как низкочастотного фильтра, а именно:

- строится амплитудно-частотная характеристика СКС, включающая все основные параметры СКС;
- вводятся понятия аппаратной функции сплайна и эквивалентной ширины аппаратной функции сплайна;
- предлагается процедура синтеза СКС (выбор параметра сглаживания) по заданной величине эквивалентной ширины аппаратной функции.

Материалы и методы исследования

В начале приведём некоторые определения, нужные для построения частотной модели СКС [1, 9]. Предположим, что на интервале $[T_1, T_2]$ заданы n узлов $t_1 = T_1 < t_2 < \dots < t_n = T_2$ и в этих узлах измерены значения функции:

$$\tilde{f}_j = f(t_j) + \eta_j, \quad j = 1, \dots, n, \quad (1)$$

где η_j – случайный шум (погрешность) измерений с нулевым средним и дисперсией σ_η^2 (равноточные измерения). Функция $S_{n,\alpha}(t)$ называется сглаживающим кубическим сплайном дефекта единица, если: а)

на каждом отрезке $[t_j, t_{j+1})$ функция $S_{n,\alpha}(t)$ является кубическим многочленом вида

$$S_{n,\alpha}(t) = a_j + b_j(t - t_j) + c_j(t - t_j)^2 + d_j(t - t_j)^3; \quad (2)$$

б) функция $S_{n,\alpha}(t)$ дважды непрерывно дифференцируема на всём интервале $[T_1, T_2]$.

Сглаживающий кубический сплайн $S_{n,\alpha}(t)$ в общем случае не проходит через точки (t_j, \tilde{f}_j) , а проходит в некоторой окрестности (её размеры определяются величиной параметра сглаживания) от этих точек, обеспечивая тем самым сглаживание (фильтрацию) шума измерений. Для однозначного определения коэффициентов СКС (2) в узлах t_1, t_n задаются краевые условия сплайна, из которых наиболее часто используют:

– условия на значения первой производной вида

$$S'_{n,\alpha}(t_1) = s'_1, \quad S'_{n,\alpha}(t_n) = s'_n; \quad (3)$$

– условия на нулевые значения второй производной

$$S''_{n,\alpha}(t_1) = 0; \quad S''_{n,\alpha}(t_n) = 0; \quad (4)$$

– или сочетание условий (3), (4) (например, в узле t_1 задается (3), а в t_n – условие (4)).

Доказано, что СКС, построенный при краевых условиях (3) или (4), доставляет минимум функционалу [1]:

$$F_\alpha(S) = \alpha \int_{t_1}^{t_n} |S''(t)|^2 dt + \sum_{j=1}^n p_j^{-1} (\tilde{f}_j - S(t_j))^2, \quad (5)$$

где p_j – весовые множители, отражающие точность j -го измерения \tilde{f}_j (в случае равноточных измерений задаются одинаковыми, например $p_j \equiv 1$), α – параметр сглаживания.

Перейдем к построению частотной модели СКС. Для этого представим СКС в виде «черного» ящика, на вход которого поступает последовательность измеренных значений $\tilde{f}_j, j = 1, \dots, n$, а выходом является функция $S_{n,\alpha}(t)$ с непрерывными производными до второй включительно и определенная на интервале $[T_1, T_2]$. При этом будем полагать, что шаг сетки равный и равен Δ_t и весовые множители p_j одинаковы и равны p .

Первоначально установим связь между значениями $\tilde{f}_j, j = 1, \dots, n$, и вторыми производными M_j сплайна $S_{n,\alpha}(t)$ в узлах t_j . За исключением двух первых и двух последних узлов эта связь выражается следующим разностным уравнением [1, 2]:

$$\beta_\alpha M_{j-2} + \mu_\alpha M_{j-1} + \lambda_\alpha M_j + \mu_\alpha M_{j+1} + \beta_\alpha M_{j+2} = \frac{\tilde{f}_{j+1} - 2\tilde{f}_j + \tilde{f}_j}{\Delta_t}, \quad j = 3, \dots, n-2. \quad (6)$$

В формуле (6)

$$\beta_\alpha = \frac{\alpha p}{\Delta_t^2}, \quad \mu_\alpha = \frac{\Delta_t}{6} - \frac{4\alpha p}{\Delta_t^2},$$

$$\lambda_\alpha = \frac{2\Delta_t}{3} + \frac{6\alpha p}{\Delta_t^2}. \quad (7)$$

Уравнение (6) отражает структуру дискретного фильтра, преобразующего входную последовательность $\{\tilde{f}_j\}$ в последовательность $\{M_j\}$. Для построения частотной характеристики такого фильтра обратимся к так называемому D -преобразованию бесконечной последовательности $\{h_j\}$, $j=1, \dots, \infty$, определяемому соотношением

$$H_D(\omega) = \sum_{j=1}^{\infty} h_j \exp\left(-\frac{i(j-1)\omega}{\Delta_t}\right).$$

где $i = \sqrt{-1}$. Заметим, что $H_D(\omega)$ является периодической функцией с периодом $2\pi / \Delta_t$. Обозначим через $M_D(\omega)$, $\tilde{F}_D(\omega)$ – D -преобразования дискретных последовательностей $\{M_j\}$, $\{\tilde{f}_j\}$. Тогда частотная характеристика рассматриваемого дискретного фильтра определяется как отношение $\frac{M_D(\omega)}{\tilde{F}_D(\omega)}$. С учетом свойств D -преобразова-

ния для сдвинутых последовательностей $M_{j-2}, M_{j-1}, M_{j+1}, M_{j+2}, \tilde{f}_{j-1}, \tilde{f}_{j+1}$ [], получаем частотную характеристику дискретного преобразования $\{\tilde{f}_j\} \Rightarrow \{M_j\}$:

$$K_\alpha(\omega) = \frac{2}{\Delta_t \cdot \omega^2} \cdot \left[\frac{\sin(\frac{\omega \cdot \Delta_t}{2})}{\frac{\omega \cdot \Delta_t}{2}} \right]^2 \cdot \left[\frac{1 - \cos(\omega \cdot \Delta_t)}{\lambda_\alpha + 2\mu_\alpha \cos(\omega \cdot \Delta_t) + 2\beta_\alpha \cos(2\omega \cdot \Delta_t)} \right], \quad -\infty < \omega < \infty. \quad (12)$$

Характеристика (12), по сути, является амплитудно-частотной характеристикой динамического звена $\{\tilde{f}_j\} \Rightarrow \{M_j\}$. Введем понятие аппаратной функции СКС $k_\alpha(t)$ как обратное преобразование Фурье от частотной характеристики (12):

$$k_\alpha(t) = \int_{-\infty}^{\infty} K_\alpha(\omega) \cdot \exp(i\omega t) d\omega. \quad (13)$$

Возникает вопрос: как использовать понятия частотной характеристики и аппаратной функции СКС для его анализа и синтеза? Предположим, что функция $f(t)$ имеет Фурье-образ, равный $\Phi F(\omega)$. Тогда Фурье-

$$\frac{2}{\Delta_t} \cdot \left[\frac{\cos(\omega \cdot \Delta_t) - 1}{\lambda_\alpha + 2\mu_\alpha \cos(\omega \cdot \Delta_t) + 2\beta_\alpha \cos(2\omega \cdot \Delta_t)} \right],$$

$$-\frac{\pi}{\Delta_t} \leq \omega \leq \frac{\pi}{\Delta_t} \quad (8)$$

Далее рассмотрим преобразование дискретных значений $\{M_j = S_{n,\alpha}^{(2)}(t_j)\}$ второй производной в непрерывную вторую производную сплайна:

$$S_{n,\alpha}^{(2)}(t) = M_{j-1} \cdot \frac{t_j - t}{\Delta_t} + M_j \cdot \frac{t - t_{j-1}}{\Delta_t}, \quad (9)$$

что соответствует линейной интерполяции с частотной характеристикой:

$$\left[\frac{\sin(\frac{\omega \cdot \Delta_t}{2})}{\frac{\omega \cdot \Delta_t}{2}} \right]^2, \quad -\infty < \omega < \infty. \quad (10)$$

Для нахождения $S_{n,\alpha}^{(2)}(t)$ по второй производной $S_{n,\alpha}^{(2)}(t)$ выполним двойное интегрирование, что соответствует преобразованию с частотной характеристикой:

$$\frac{1}{(i \cdot \omega)^2}, \quad -\infty < \omega < \infty. \quad (11)$$

Очевидно, что частотная характеристика СКС равна произведению частотных характеристик (8), (10), (11) и определяется выражением

образ $\Phi \bar{S}_\alpha(\omega)$ сплайна $\bar{S}_\alpha(t)$, построенного по точным значениям $\{f_j = f(t_j)\}$, будет определяться выражением

$$\Phi \bar{S}_\alpha(\omega) = K_\alpha(\omega) \Phi F(\omega), \quad -\infty < \omega < \infty. \quad (14)$$

В соответствии с теоремой о свертке [10, с. 527–529], сплайн $\bar{S}_{n,\alpha}(t)$ можно представить как результат интегрирования:

$$\bar{S}_{n,\alpha}(t) = \int_{t_a}^{t_b} k_\alpha(t - \tau) f(\tau) d\tau \quad (15)$$

и его можно интерпретировать как «усреднение» функции $f(t)$ аппаратной функцией сплайна. Очевидно, что чем меньше «ши-

рина» аппаратной функции, тем меньше $S_{n,\alpha}(t)$ отличается от $f(t)$ и тем меньше систематическая ошибка сглаживания. Для количественной оценки ширины аппаратной функции введем характеристику, которую назовем эквивалентной шириной аппаратной функции (ЭШАФ) $W(\alpha)$:

$$W(\alpha) = \int_{t_c}^{t_d} |k_\alpha(\tau)| d\tau / k_\alpha(0). \quad (16)$$

Величина $W(\alpha)$ уже позволяет говорить о разрешающей способности СКС, а именно: если функция имеет две δ -образных структуры, то они проявятся в СКС (возможно, в сглаженном виде), если «расстояние» (по шкале аргумента t) между ними будет не меньше $W(\alpha)$ (см. результаты вычислительного эксперимента).

Замечание. В силу конечной длительности функций $f(t)$, $k(\tau)$ пределы интегрирования t_a, t_b, t_c, t_d в (15), (16) имеют конечные значения, что позволяет вычислить (15), (16), применяя подходящие квадратурные формулы.

Таким образом, введение характеристики $W(\alpha)$ позволяет говорить об *анализе разрешающей способности* СКС – когда по заданному параметру сглаживания вычисляется значение $W(\alpha)$ и о задаче *синтеза* СКС – когда по заданному максимальному значению $W(\alpha)$ вычисляется величина параметра сглаживания. Так как сглаживающая способность сплайна увеличивается по мере возрастания параметра сглаживания и $W(\alpha)$ при этом также увеличивается, то, решая задачу синтеза сплайна по заданной максимальной величине $W(\alpha)$, можно говорить о построении сплайна с наименьшим уровнем случайной ошибки среди всех сплайнов с ЭШАФ не более $W(\alpha)$.

Результаты исследования и их обсуждение

Первоначально рассмотрим результаты вычисления частотной характеристики (12) и аппаратной функции (13) сплайна с параметрами $\Delta_t = 0.05, p = 1$. На рис. 1 изображены графики частотной характеристики $K_\alpha(\omega)$ при разных параметрах сглаживания: сплошная кривая – $\alpha = 0$; штриховая кривая – $\alpha = 0.0001$, точечная кривая – $\alpha = 0.1$. На рис. 2 показаны графики аппаратных функций сплайна при тех же параметрах сглаживания (соответствие типов кривых те же, что и на рис. 1). Хорошо видно, что при увеличении параметра сглаживания уменьшается ширина полосы пропускания СКС (как низкочастотного фильтра), а следовательно, увеличивается подавление шума измерений, но при этом увеличивается ширина аппаратной функции, что вызывает ухудшение разрешающей способности сплайна – известное противоречие между систематической и случайной составляющей ошибки фильтрации любого линейного алгоритма фильтрации.

Перейдем к рассмотрению эквивалентной ширины аппаратной функции СКС, определяемой соотношением (16). На рис. 3 представлен график характеристики $W(\alpha)$ от параметра сглаживания. Используя этот график, попробуем определить параметр сглаживания по заданной величине $W(\alpha) = W_s = 0.2$. Для этого по оси ординат (рис. 3) откладываем величину 0.2 и проводим штриховую прямую до пересечения с графиком $W(\alpha)$ (точка пересечения обозначена буквой A), а затем из этой точки опускаем перпендикуляр на ось абсцисс – и точку пересечения с этой осью обозначим как B . Значение α в точке B примерно равно $\alpha_{0,2} = 3 \cdot 10^{-4}$, и, по сути, это значение является «графическим» решением нелинейного уравнения $W(\alpha) = W_s$.

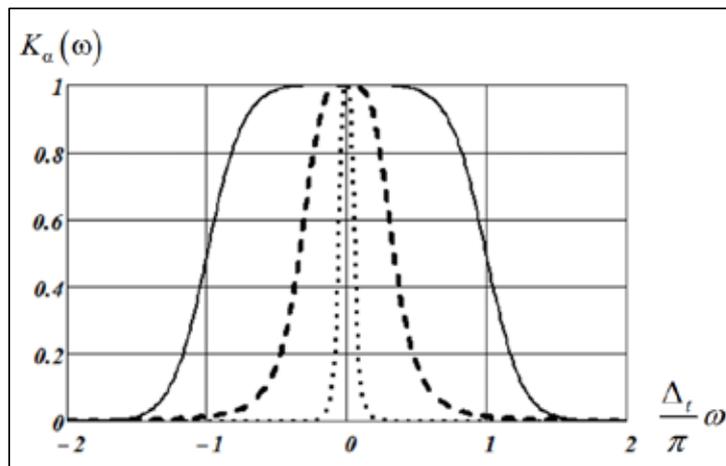


Рис. 1. Частотная характеристика СКС при различных значениях параметра α

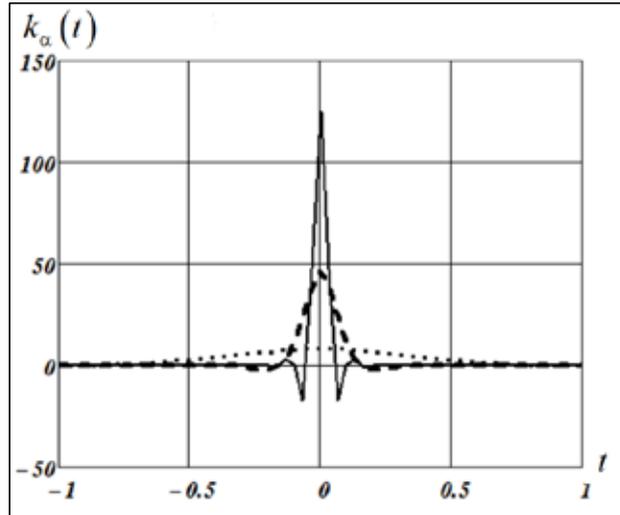


Рис. 2. Аппаратная функция СКС при различных значениях параметра α

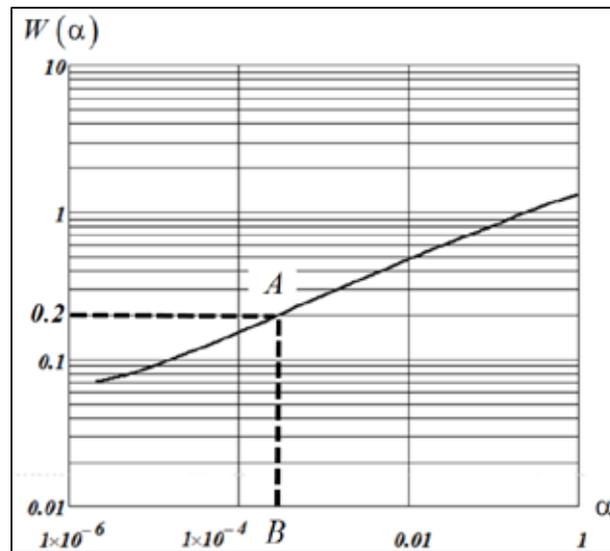


Рис. 3. Зависимость характеристики $W(\alpha)$ от параметра сглаживания α

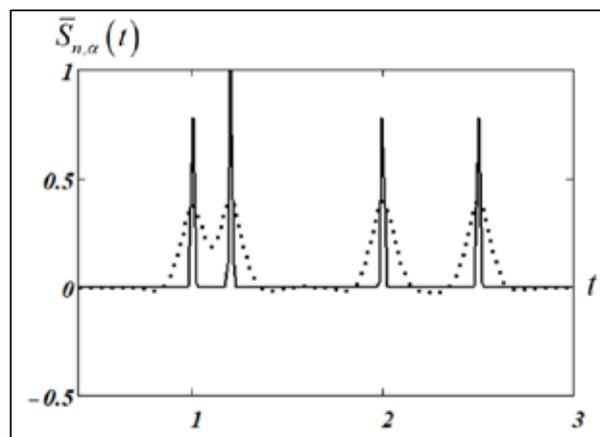


Рис. 4. СКС при заданной разрешающей способности

На рис. 4 показаны графики четырех δ -образных функций. Расстояние между левой парой кривых равно 0,2, т.е. равно заданной величине W_s , а расстояние между правой парой равно 0,5. Точечной кривой на рис. 4 показаны значения сглаживающего сплайна, построенного при $\alpha_{0,2} = 3 \cdot 10^{-4}$.

Видно, что в сплайне четко «проявились» две левых δ -образных функций, расстояние между которыми равно заданной величине ЭШАФ построенного СКС. Следовательно, по величине ЭШАФ сплайна можно определить расстояние между «тонкими» деталями функции, сохраненные в построенном СКС, т.е. можно говорить о разрешающей способности СКС, которую можно характеризовать ЭШАФ. Так как расстояние между правыми δ -образных функций в 2,5 раза больше заданной ЭШАФ, то эти функции полностью сохранились в построенном СКС.

Заключение

Предложенная в работе частотная модель СКС позволяет интерпретировать сглаживающий сплайн как низкочастотный фильтр, полоса пропускания которого зависит от параметра сглаживания. Введенная аппаратная функция сплайна и ее эквивалентная ширина дает возможность определить разрешающую способность СКС, и это позволяет решать:

– задачу анализа СКС – когда по заданному параметру сглаживания определяют введенные частотные и временные характеристики сплайна;

– задачу синтеза СКС – когда по заданной ЭШАФ W_s находят значение параметра сглаживания СКС путем решения нели-

нейного уравнения $W(\alpha) = W_s$ численными методами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 22-21-00409.

Список литературы

1. Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошниченко В.Л. Методы сплайн-функций. М.: Наука, 1980. 345 с.
2. Воскобойников Ю.Е., Преображенский Н.Г., Седелников А.И. Математическая обработка эксперимента в молекулярной газодинамике. Новосибирск: Наука, 1984. 238 с.
3. Воскобойников Ю.Е., Боева В.А. Новый устойчивый алгоритм непараметрической идентификации технических систем // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 5. С. 25–29.
4. Cheng C.M. Volterra-series-based nonlinear system modeling and its engineering applications: A state-of-the-art review. Mechanical Systems and Signal Processing. 2017. Vol. 87. P. 430–364.
5. Apartsyn A.S., Solodusha S.V., Spiryaev V.A. Modeling of Nonlinear Dynamic Systems with Volterra Polynomials: Elements of Theory and Applications. Int. J. Energy Optim. Eng. 2013. No. 2. P. 16–43. DOI: 10.4018/ijeoe.2013100102.
6. Солодуша С.В. Численное моделирование динамики теплообмена модифицированным квадратичным полиномом Вольтерры // Вычислительные технологии. 2013. Т. 18. № 2. С. 84–94.
7. Solodusha S.V. Quadratic and cubic Volterra polynomials: Identification and application. Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta. Prikladnaya Matematika, Informatika, Protsessy Upravleniya. 2018. Vol. 14. No. 2. P. 131–144. DOI: 10.21638/11701/spbu10.2018.205.
8. Воскобойников Ю.Е., Боева В.А. Устойчивый алгоритм вычисления смешанных производных в задачах непараметрической идентификации нелинейных систем // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 4. С. 25–29. DOI: 10.17513/snt.38610.
9. Wang Y. Smoothing Splines Methods and Applications. Ser. Monographs on Statistics and Applied Probability v. 121. A Chapman & Hall book, 2014. 347 p.
10. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т. 3: учебник для вузов. 12-е изд., стер. СПб.: Лань, 2021. 656 с.

УДК 51-74:519.25

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАХОЖДЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ИНФРАКРАСНОГО СВЕТОВОГО ПОТОКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

¹Григорьева Т.В., ^{1,2}Белобородова Т.Г., ²Иремадзе Э.О.

¹ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет, филиал, Стерлитамак, e-mail: Bulgach2005@yandex.ru, Beltany2008@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет», филиал, Стерлитамак, e-mail: e.o.iremadze@strbsu.ru

В настоящее время характер производственного процесса быстро меняется, становится все более сложным, что связано с изменениями в потребительском спросе, сокращением жизненного цикла продукта. Это требует производственных технологий, которые могут легко адаптироваться к таким изменениям. В этом контексте искусственные нейронные сети являются эффективным способом решения проблемы. Большинство производственных процессов регулируются многими переменными параметрами, и по этой причине такие системы имеют случайный, сложный и неопределенный характер. Применение нейронных сетей для моделирования технологических процессов позволит повысить эффективность систем управления качеством, предоставив необходимый объем информации о процессе и дополнительные инструменты исследования, анализа и управления. В статье приводятся результаты моделирования нейронной сети для нахождения оптимальной мощности сушильных устройств, необходимой для полимеризации краски. В качестве моделей была выбрана искусственная нейронная сеть архитектуры многослойный перцептрон. Для построения искусственной нейронной сети использован программный продукт российского производства DeductorStudioAcademic 5.3. Было создано три модели нейросетей и проведен сравнительный анализ их эффективности. Показано, что наибольшую эффективность, одновременно как на обучающем, так и на тестовом множествах исходных данных, показывает искусственная нейронная сеть с 9 нейронами на единственном скрытом слое. Разработанная модель является эффективным инструментом для печатной промышленности.

Ключевые слова: математическая модель, нейронные сети, нейросетевая модель, многослойный перцептрон, Deductor Studio, корреляционный анализ

MATHEMATICAL MODEL OF FINDING THE OPTIMAL INFRARED LIGHT FLUX OF A TECHNOLOGICAL PROCESS

¹Grigoreva T.V., ^{1,2}Beloborodova T.G., ²Iremadze E.O.

¹Ufa State Petroleum Technical University, branch, Sterlitamak, e-mail: Bulgach2005@yandex.ru, Beltany2008@yandex.ru;

²Bashkir State University, branch, Sterlitamak, e-mail: e.o.iremadze@strbsu.ru

At present, the nature of the production process is rapidly changing, becoming more and more complex, which is associated with changes in consumer demand, a reduction in the product life cycle. This requires manufacturing technologies that can easily adapt to such changes. In this context, artificial neural networks are an effective way to solve a problem. Most manufacturing processes are governed by many variables and for this reason such systems are random, complex and uncertain. The use of neural networks for modeling technological processes will improve the efficiency of quality management systems by providing the necessary amount of information about the process and additional tools for research, analysis and management. The article presents the results of modeling a neural network to find the optimal power of drying devices required for paint polymerization. As models, an artificial neural network of the multilayer perceptron architecture was chosen. To build an artificial neural network, the Russian-made software product DeductorStudioAcademic 5.3 was used. Three models of neural networks were created and a comparative analysis of their effectiveness was carried out. It is shown that the greatest efficiency both on training and test sets of initial data is shown by an artificial neural network with 9 neurons on a single hidden layer. The developed model is an effective tool for the printing industry.

Keywords: mathematical model, neural networks, neural network model, multilayer perceptron, Deductor Studio, correlation analysis

В настоящее время характер производственного процесса меняется с большой скоростью, становится все более изощренным и происходят постоянные изменения из-за изменений в потребительском спросе и сокращения жизненного цикла продукта. Это требует производственных технологий, которые могут легко адаптироваться к таким изменениям. В этом контексте искусственные нейронные сети являются мощной технологией для решения этой проблемы.

Использование искусственных нейронных сетей также широко используется для мониторинга и контроля процессов. Качество процесса может быть обеспечено только в ходе мониторинга процесса посредством надлежащих измерений.

Практические разработки применения нейронных сетей для моделирования различного рода инженерных систем показывают, что нейросетевые модели точнее регрессионных и лишены ряда имеющихся у

регрессионных моделей недостатков [1, 2]. Применение нейронных сетей для моделирования технологических процессов позволит повысить эффективность систем управления качеством, предоставив необходимый объем информации о процессе и дополнительные инструменты исследования, анализа и управления.

В соответствии с вышеизложенным целью работы являлось создание нейросетевой модели, предназначенной для нахождения инфракрасного светового потока полиграфического процесса оксидации краски. Для достижения поставленной цели изучили применение нейросетевого моделирования в решении задач технологического процесса, построили наиболее подходящую модель нейронной сети для нахождения оптимальной мощности сушильных устройств, необходимой для полимеризации краски; сравнили результаты, полученные на основе нейронной сети с их реальными значениями. В качестве объекта исследования работы избраны технологические процессы оксидации краски.

Научной новизной представляемой работы является построение нейросетевой модели, предназначенной для нахождения инфракрасного светового потока полиграфического процесса оксидации краски.

Практическая значимость исследования заключается в том, что разработанный на основе построенной нейросетевой модели программный продукт дает возможность с небольшой ошибкой устанавливать технологические параметры сушильных устройств, необходимые для оксидации краски. Благодаря этому разработанный проект является эффективным инструментом в печатной промышленности.

Материалы и методы исследования

В качестве исходных данных для построения математической модели инфракрасного светового потока полиграфического процесса оксидации краски использованы результаты работы типографского станка в течение трех месяцев. Экспериментальные данные были занесены в электронную таблицу для последующего преобразования в формат CSV с разделителем semicolon. Общий объем составил 300 записей, каждая из которых содержала следующие значения: номер эксперимента; скорость, м/с; мощность, % (максимум 158 кВт); температура окружающей среды, °C; влажность, %; брак, %; тираж, шт.; независимый брак, шт.; суммарный брак, шт.

Целью построения модели процесса печати является снижение себестоимости изготовления печатной продукции путём

снижения доли брака. Под браком подразумевается только та доля печатной продукции, которая оказалась непригодна вследствие неоптимального инфракрасного потока для оксидации краски. Для нахождения доли контролируемого брака составлена формула (1) как разница между долями суммарного и независимого брака:

$$\text{брак}_{\text{контр.}} = \frac{\text{брак}_{\text{сумм.}} - \text{брак}_{\text{незав.}}}{\text{тираж}} \cdot 100 \% \quad (1)$$

Переход к относительным величинам позволяет отказаться от такого параметра, как тираж. Стоит отметить, что данная величина является постоянной характеристикой оборудования и, таким образом, не может рассматриваться в качестве регулирующего параметра при оптимизации. Для всех записей в исходной электронной таблице был произведен расчёт контролируемого брака по вышеприведённой формуле.

Максимальная мощность инфракрасной сушилки, которую можно получить на рассматриваемом оборудовании, составляет 158 кВт. Значения мощности из исходных данных были переведены из относительной величины (*power*) в абсолютную (*power2*) по формуле

$$\text{power2} = \text{power} \cdot \frac{158 \text{ кВт}}{100 \%} \quad (2)$$

В качестве входных регулируемых параметров остались четыре значения: скорость (*speed*), м/с; температура окружающей среды (*temperature*), °C; влажность (*humidity*); мощность (*power2*), кВт. В качестве выходного параметра рассматриваем контролируемый брак (*defect2*), %. Фрагмент данных для построения модели представлен в табл. 1. Статистические данные по всем параметрам модели приведены в табл. 2.

С целью устранения незначительных входных параметров выполнен корреляционный анализ Пирсона [3], результаты которого представлены в табл. 3.

Для каждого из входных параметров наблюдается отрицательный коэффициент корреляции Пирсона. Это свидетельствует о том, что в общем случае наблюдается обратная значимость между долей контролируемого брака и каждым из параметров: скоростью, температурой, влажностью и мощностью. Однако тот факт, что коэффициенты корреляции не равны 1, показывает, что зависимость не является точно линейной, а, следовательно, возможно наличие экстремальных точек. Данный вывод согласуется с теоретическими сведениями.

Таблица 1

Фрагмент экспериментальных данных

№ эксперимента	Скорость, м/с	Температура окружающей среды, °С	Влажность, %	Мощность, % (макс. 158 кВт)	Контролируемый брак, %
1	3,43	21	60	93,22	5,23
2	2,78	20	58	79	7,24
...					...
299	2,17	23	52	71,1	15,83
300	2,29	20	54	71,1	16,71

Таблица 2

Статистика параметров модели

Параметр	Минимум	Максимум	Среднее
Скорость	2,000	3,990	2,938
Температура	20,000	28,000	24,053
Влажность	40,000	60,000	49,573
Мощность	71,100	109,200	75,951
Контролируемый брак	0,256	29,621	13,899

Таблица 3

Результаты корреляционного анализа

Параметр	Коэффициент корреляции Пирсона	t-критерий Стьюдента
Скорость, м/с	-0,175	3,053
Температура, °С	-0,524	10,567
Влажность, %	-0,796	22,587
Мощность, кВт	-0,421	7,972

Согласно справочным данным, критическое значение t-критерия Стьюдента для 295 степеней свободы и доверительной вероятности 95% составляет 1,968. Полученные данные указывают, что все входные параметры не менее критического значения, следовательно, являются значащими для данной модели.

Математическая модель полиграфического процесса. Для обучения искусственных нейронных сетей применяется набор исходных данных, рассмотренных выше. В качестве моделей была выбрана искусственная нейронная сеть архитектуры многослойный перцептрон. Это нейросеть прямого распространения показала наилучшую эффективность для решения задач аппроксимации непрерывных параметров. К тому же многослойный перцептрон отличается простотой строения, выработанными эффективными алгоритмами обучения и высоким быстродействием [4–6].

Для построения искусственной нейронной сети использован программный продукт российского производства *Deductor Studio Academic 5.3*. Редакция *Academic* является бесплатной академической версией. Поддерживаются только три источника и приемника данных: *Deductor Warehouse*, *Deductor Data File* и текстовые файлы.

Создание нейронной сети начинается с импорта файла с исходными данными. В отрывшемся окне программы «Сценарии» открывается контекстное меню и выбирается «Мастер импорта». Выбирается пункт *Text – Тестовый файл (Direct)*. На втором шаге в окне мастера импорта выбирается ранее созданный CSV файл, кодировка *ASCII (MSWindows)*. Флаг «Первая строка является заголовком» оставляется выбранным. Пункт «Начать импорт со строки» также оставляется равным «1». На третьем шаге параметры формата импорта оставляются неизменными. На четвертом шаге сим-

волом разделителем устанавливается пункт «Точка с запятой». Флаг «Считать последовательные разделители одним» оставляется неактивным. На шестом шаге настраиваются параметры столбцов. Для столбцов *speed*, *temperature*, *humidity*, *power2* устанавливаются: Тип данных – «Вещественный»; Вид данных – «Непрерывный»; Назначение – «Входное». Для столбца *defect2* устанавливаются: Тип данных – «Целый»; Вид данных – «Непрерывный»; Назначение – «Выходное». На седьмом шаге завершается процесс импорта данных из текстового файла. На восьмом шаге устанавливаются следующие флаги: «Таблица», «Статистика», «Сведения». На девятом шаге происходит окончание импорта.

Обучение нейросетей происходит следующим образом: для создания нейросети выбираем соответствующий файл исходных данных, расположенный в области «Сценарии». В появившемся контекстовом меню выбирается пункт «Мастер обработки». В появившемся окне в группе «DataMining» выбирается пункт «Нейросеть» – «Многослойная нейронная сеть». Так как в процессе импорта все поля уже были настроены, то оставляем поля без изменений, активизируем кнопку «Настройка нормализации».

Нормализация столбца *speed* будет происходить следующим образом: Привести к диапазону. Диапазон значений – активно; Минимум – 0; Максимум – 4; Параметры линейного преобразования: Привести к диапазону – активно; Минимум диапазона – -1; Максимум диапазона – 1.

Нормализация столбца *temperature*: Привести к диапазону. Диапазон значений – активно; Минимум – 0; Максимум –

28; Параметры линейного преобразования: Привести к диапазону – активно; Минимум диапазона – -1; Максимум диапазона – 1.

Нормализация столбца *humidity*: Привести к диапазону. Диапазон значений – активно; Минимум – 0; Максимум – 100; Параметры линейного преобразования: Привести к диапазону – активно; Минимум диапазона – -1; Максимум диапазона – 1.

Нормализация столбца *power2*: Привести к диапазону. Диапазон значений – активно; Минимум – 0; Максимум – 158; Параметры линейного преобразования: Привести к диапазону – активно; Минимум диапазона – -1; Максимум диапазона – 1.

Нормализация столбца *defect2*: Привести к диапазону. Диапазон значений – активно; Минимум – 0; Максимум – 100; Параметры линейного преобразования: Привести к диапазону – активно; Минимум диапазона – 0; Максимум диапазона – 1.

На третьем шаге задается размер тестового и обучающего множеств. «Способ разделения исходного множества данных» оставляется равным «Случайно». Размеры множеств в процентах: обучающее: 80,00% (240 строк); тестовое: 20,00% (60 строк).

На четвертом шаге настраивается конфигурация создаваемой нейросети. Так как нормализация выходного поля производилась в интервале от 0 до 1, выбираем в качестве активационной функцию сигмоиду, логистическую функцию, область значений которой совпадает с данным диапазоном.

Необходимое количество нейронов в скрытых слоях перцептрона можно определить по формуле (3), являющейся следствием из теорем Арнольда – Колмогорова – Хехт – Нильсена [7]:

$$\frac{N_y \cdot Q}{1 + \log_2 Q} \leq N_w \leq N_y \cdot \left(\frac{Q}{N_x} + 1 \right) \cdot (N_x + N_y + 1) + N_y, \quad (3)$$

$$\frac{1 \cdot 240}{1 + \log_2 240} \leq N_w \leq 1 \cdot \left(\frac{240}{4} + 1 \right) \cdot (4 + 1 + 1) + 1,$$

$$27 \leq N_w \leq 367,$$

где N_y – размерность выходного сигнала ($N_y = 1$); N_w – необходимое число синаптических связей; N_x – размерность входного сигнала ($N_x = 4$); Q – число элементов множества обучающих примеров ($Q = 240$).

Оценив с помощью формулы (3) необходимое число синаптических связей N_w , можно рассчитать необходимое число нейронов в скрытых слоях. Например, число нейронов в скрытых слоях двухслойного перцептрона будет равно

$$N = \frac{N_w}{N_x + N_y}. \quad (4)$$

Минимальное число нейронов:

$$N = \frac{27}{4+1} = 5,4 \approx 6.$$

Максимальное число нейронов:

$$N = \frac{367}{4+1} = 73,4 \approx 73.$$

Для обучения первой нейросети выберется минимальное значение числа нейронов на единственном скрытом слое – 6 (рис. 1, а). На пятом шаге (рис. 1, б) оставляется значение по умолчанию: шаги спуска и подъема и алгоритм *Resilient Propagation*.

На шестом шаге настраиваются условия остановки обучения. Считается пример распознанным, если ошибка в вычислении доли брака *defect2* составила менее 1%. Так как выходной параметр принимает значе-

ния в интервале [0; 100], а линейное преобразование осуществляется из диапазона [0; 1], то нормированное значение ошибки будет составлять

$$\varepsilon = \frac{1\%}{100\%} \cdot \frac{1-0}{100-0} = 0,0001. \quad (5)$$

Устанавливается значение ошибки равным 0,0001. Количество эпох увеличивается в 10 раз, устанавливая равным 100000 (рис. 2).

На седьмом шаге завершается процесс обучения (рис. 2). Обучение завершилось после превышения количества эпох. Время обучения 1 мин 30 с (90 с).

На восьмом шаге «*Определение способов отображения*» выбираются все пункты следующих групп: *Data Mining, Табличные данные, Общие*. Результаты обучения нейросети представлены на рис. 3.

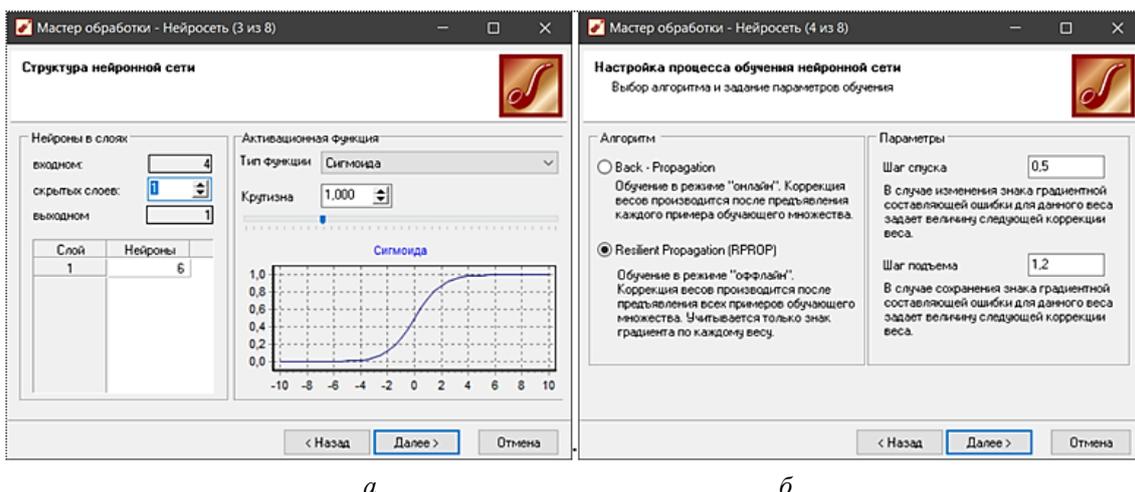


Рис. 1. Настройка процесса обучения нейронной сети

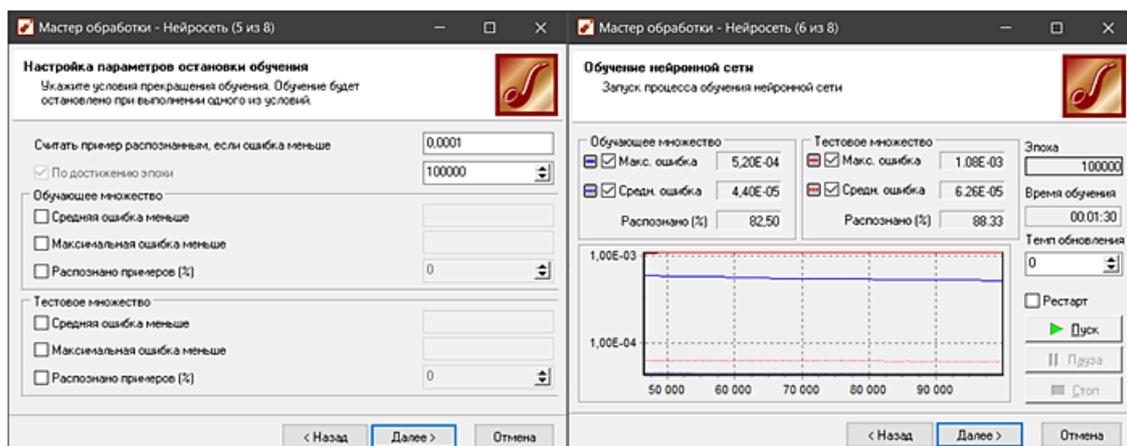


Рис. 2. Настройка параметров остановки обучения и результат обучения сети 4x6x1

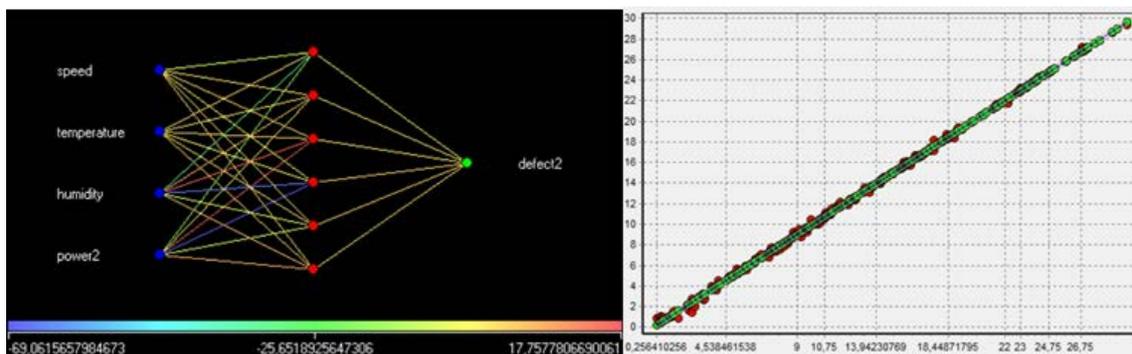


Рис. 3. Графы и диаграмма рассеивания нейросети 4x6x1

Таблица 4

Сравнение нейросетей

Нейросеть	I	II	III
Число скрытых слоев	1	1	2
Число нейронов	6	73	6 / 6
Время обучения, с	90	68	204
Количество эпох	100 000	2 488	54 905
Обучающее множество			
Распознано, %	82,50	86,25	90,00
Максимальная ошибка	0,000520	0,001280	0,000331
Средняя ошибка	0,0000440	0,0000485	0,0000283
Тестовое множество			
Распознано, %	88,33	85,00	75,00
Максимальная ошибка	0,001080	0,000754	0,000380
Средняя ошибка	0,0000626	0,0000617	0,0000592

Создается ещё одна нейросеть с одним скрытым слоем. Параметры будут аналогичны предыдущей сети за исключением числа нейронов на скрытом слое – оно равно максимальному значению – 73 нейрона. Обучение было прервано на 2488 эпохе ввиду начавшегося переобучения модели. Эффект переобучения выражается прекращением снижения значения средней ошибки на тестовом множестве исходных данных и начинающимся неуклонным ростом этого значения. Время обучения 1 мин 8 с (68 с).

Третья нейросеть создается с двумя скрытыми слоями. Для сравнения также возьмем максимальное число синаптических связей, равное 367. Количество нейронов в обоих скрытых слоях примем одинаковым. Тогда формула количества синаптических связей равна

$$N \cdot N_x + N^2 + N \cdot N_y = N_w. \quad (6)$$

$$N \cdot 4 + N^2 + N \cdot 1 = 367.$$

Решая полученное уравнение, находим его положительный корень: $N = 5,971 \approx 6$.

Таким образом, создаем сеть с двумя скрытыми слоями по 6 нейронов в каждом. Остальные настройки остаются аналогичными предыдущим нейросетям. Обучение было прервано на 54905 эпохе ввиду начавшегося переобучения модели. Время обучения 3 мин 24 с (204 с). Сравнение результата обучения всех трех нейросетей приведено в табл. 4.

Анализируя полученные в табл. 4 результаты, можно сделать вывод, что использование двух и более скрытых слоев нецелесообразно. Получающиеся модели обладают значительно более низкой эффективностью на тестовых данных, что свидетельствует о явлении переобучения. Данное явление обусловлено чрезмерно высокой размерностью сети для данного набора обучающих данных.

Таким образом, поиск оптимальной нейросетевой модели следует продолжать

среди многослойных перцептронов с одним скрытым слоем. Количество нейронов на данном слое было оценено в интервале [6, с. 73]. Поиск осуществляли методом расчётной сетки в логарифмическом масштабе [8; 9]. Так, разбивая интервал на 4 участка, получали точки: 11, 21, 39. Определив, что наилучшие результаты дала нейронная сеть с 1 нейронами на скрытом слое, методом бисекции всё также в логарифмическом масштабе для каждой нейросети вычисляли долю распознанных примеров на обучающем и тестовом множествах. Результаты представлены в табл. 5.

Исходя из полученных данных, наибольшую эффективность, одновременно как на обучающем, так и на тестовом множествах исходных данных, показывает искусственная нейронная сеть с 9 нейронами на единственном скрытом слое (рис. 4). Для данной сети обучение завершилось после превышения количества эпох. Время обучения 2 мин 2 с (122 с).

Провели анализ эффективности нейросетевой модели. Среднеквадратическое

отклонение для задачи множественной регрессии определяется по формуле

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - k - 1}, \quad (7)$$

где y_i – фактическое значение выходной переменной в i -м примере; \hat{y}_i – расчётное значение выходной переменной в i -м примере; n – количество примеров; k – количество факторов.

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = 8,758;$$

$$\sigma = \frac{8,758}{300 - 4 - 1} = 0,0297.$$

Стандартное отклонение находим по формуле

$$S = \sqrt{\sigma}, \quad (8)$$

$$S = \sqrt{0,0297} = 0,172.$$

Таблица 5

Сравнение нейросетей с одним скрытым слоем

Число нейронов на скрытом слое	Доля распознанных примеров, %	
	обучающее множество	тестовое множество
6	82,50	88,33
8	89,17	85,00
9	92,92	86,67
10	92,50	85,00
11	89,17	85,00
21	89,17	78,33
39	85,83	83,33
73	86,25	85,00

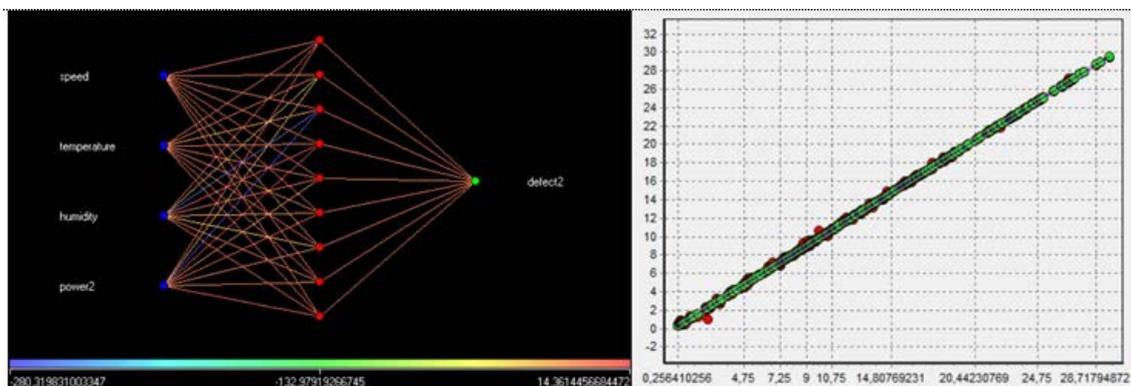


Рис. 4. Граф и диаграмма рассеивания нейросети 4x9x1

Для оценки качества нейросетевой модели используется множественный коэффициент корреляции, вычислив его через коэффициент детерминации

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (9)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - 13,899)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - 13,899)^2} = \frac{16343,989}{17665,563} = 0,925.$$

Следовательно, около 92,5% вариации зависимой переменной учтено в нейросетевой модели и обусловлено влиянием включенных факторов.

Скорректированный коэффициент детерминации вычисляется по формуле

$$R_{adj}^2 = 1 - (1 - R^2) \cdot \frac{n-1}{n-k}. \quad (10)$$

$$R_{adj}^2 = 1 - (1 - 0,925) \cdot \frac{300-1}{300-4} = 0,915.$$

Множественный коэффициент корреляции составит: $R = \sqrt{0,915} = 0,957$.

Результаты исследования и их обсуждение

Таким образом, было показано, что применение нейросетей для решения задач аппроксимации зависимостей математических моделей является высокоэффективным подходом и наиболее действенным. Однако в процессе поиска оптимальной размерности нейронной сети следует учитывать эффект переобучения, который, несмотря на высокую точность для обучающих примеров, приводит к тому, что нейросеть перестает адекватно описывать исследуемый процесс. В ходе построения нейросетевой модели в данной работе учитывался риск присутствия данного эффекта и в случае его возникновения процесс обучения прекращался.

Заключение

Таким образом, в качестве математической модели исследуемого процесса была выбрана искусственная нейронная сеть

типа многослойный перцептрон с одним скрытым слоем. Для программной реализации обученной нейронной сети с целью её дальнейшего использования в составе клиентского приложения, так и в составе программного обеспечения программируемого логического контроллера (ПЛК), был выбран язык программирования C#.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанный программный продукт на основе созданной нейронной сети дает возможность с небольшой ошибкой устанавливать мощность инфракрасного потока, необходимого для наилучшей оксидации краски при различных внешних факторах. Благодаря этому разработанная модель является эффективным инструментом в печатной промышленности.

Список литературы

1. Галустов Г.Г., Седов А.В. Математическое моделирование и прогнозирование в технических системах: учебное пособие. Ростов н/Д.: Издательство ЮФУ, 2016. 107 с.
2. Домашнев П.А. Разработка и исследование нейросетевых инструментов моделирования и управления сложными технологическими процессами: дис. ... канд. техн. наук. Липецк, 2006. 199 с.
3. Григорьева Т.В., Белобородова Т.Г., Барменкова Е.А. Корреляционно-регрессионный анализ выявления факторов, влияющих на производительность компании (на примере ПАО «ГАЗПРОМ») // Материалы 46-й Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием. Том 2. (Октябрьский, 26 апреля 2019 г.). Уфа: Издательство Уфимского государственного нефтяного технического университета, 2019. С. 77–80.
4. Воловиков Б.П. Стратегическое прогнозирование развития промышленного предприятия на основе метода нейронных сетей и аппарата нечеткой логики // Стратегический менеджмент. 2011. № 4. С. 256–268.
5. Головкин В.А., Краснопрошин В.В. Нейросетевые технологии обработки данных: учеб. пособие. Минск: БГУ, 2017. 263 с.
6. Ясницкий Л.Н. Интеллектуальные системы. М.: Лаборатория знаний, 2016. 221 с.
7. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Пер. с польск. И.Д. Рудинского. 2-е изд., стереотип. М.: Горячая линия – Телеком, 2013. 384 с.
8. Сток Д., Уотсон М. Анализ статистических данных: учебник / Под науч. ред. М.Ю. Турунцевой; пер. с англ. В. Акимова, Б. Гафарова, М. Леонова и др. М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2015. 865 с.
9. Никонов О.И., Крутчиков С.В., Медведева М.А. Математическое моделирование и методы принятия решений: учебное пособие. 2-е изд., стер. М.: Флинта, Изд-во Урал-ун-та, 2017. 100 с.

УДК 621.391

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ
НА ФОНЕ НЕФАКТОРИЗУЕМЫХ ПОМЕХ
В РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ
С КРУПНОАПЕРТУРНЫМИ АНТЕННЫМИ РЕШЕТКАМИ**

Гурский С.М., Кочетков И.В., Кузинков А.М.

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, e-mail: vka@mil.ru

Исследованы существующие подходы к пространственно-временной обработке полезных сигналов на фоне помех. Рассмотрено условие узкополосности (факторизуемости) в пространственно-временном смысле при обработке полезных сигналов на фоне воздействия широкополосных помех в пространственно-временном смысле. Показаны сложности достижения условий факторизуемости (разделяемости) пространственно-временных структур, встречающихся в радиотехнических системах с крупноапертурными антенными решетками, которые используются для достижения больших дальностей обнаружения высокоскоростных и малоразмерных целей с высокими точностями измерения координат и разрешающими способностями. Проведен анализ путей реализации выполнения условия пространственно-временной узкополосности в радиотехнических системах с антенными решетками с использованием управляемых линий задержки и с использованием фазовращателей. Дана сравнительная характеристика обоих путей обеспечения условия пространственно-временной узкополосности. Предложен метод синтеза алгоритмов факторизуемого пространственно-временного обнаружителя нефакторизуемых (широкополосных в пространственно-временном смысле) сигналов с использованием многоканальной частотной фильтрации в каждом пространственном канале на основе математического аппарата матричных кронекерово-тензорных произведений. Показано, что внедрение предложенного метода сможет обеспечить величину выигрыша в отношении сигнал/помеха не менее (8-12) децибел по сравнению с известными устройствами, использующими, например, подрешетки антенной системы.

Ключевые слова: радиотехническая система, антенная решетка, фазовращатель, управляемая линия задержки, метод синтеза обнаружителя, многоканальная частотная фильтрация

**INVESTIGATION OF THE METHOD
OF SPATIO-TEMPORAL SIGNAL PROCESSING AGAINST THE BACKGROUND
OF NON-FACTORIZABLE INTERFERENCE IN RADIO ENGINEERING SYSTEMS
WITH LARGE-APERTURE ANTENNA ARRAYS**

Gurskiy S.M., Kochetkov I.V., Kuzinkov A.M.

*The Mozhaisky Military Space Academy of the Ministry of Defence of the Russian Federation,
Saint-Petersburg, e-mail: vka@mil.ru*

The existing approaches to the spatio-temporal processing of useful signals against the background of interference are investigated. The condition of narrowband (factorizability) in the spatio-temporal sense is considered when processing useful signals against the background of broadband interference in the spatio-temporal sense. The difficulties of achieving the conditions of factorizability (separability) of space-time structures are shown to occur in radio engineering systems with large-aperture antenna arrays, which are used to achieve long detection ranges of high-speed and small-sized targets with high coordinate measurement accuracy and resolution capabilities. The analysis of ways to implement the fulfillment of the spatio-temporal narrowband condition in radio engineering systems with antenna arrays using controlled delay lines and using phase shifters is carried out. A comparative characteristic of both ways of ensuring the condition of spatio-temporal narrowband is given. A method is proposed for synthesizing algorithms for a factorizable spatio-temporal detector of non-factorizable (broadband in the spatio-temporal sense) signals using multichannel frequency filtering in each spatial channel based on the mathematical apparatus of matrix Kronecker tensor products. It is shown that the implementation of the proposed method will be able to provide a gain in the signal/interference ratio of at least (8-12) decibel compared to known devices using, for example, sublattices of the antenna system.

Keywords: radio engineering system, antenna array, phase shifter, controlled delay line, detector synthesis method, multi-frequency frequency filtering

Известные в настоящее время методы синтеза и анализа алгоритмов факторизуемой (разделяемой) пространственно-временной обработки [1–3] и устройства, их реализующие, применимы лишь в случае полей узкополосных в пространственно-временном смысле, т.е. соответствующих условию (1) [4–6]:

$$(\Delta f_{\text{сигн}})^{-1} \gg \Delta t_{\text{макс}}, \quad (1)$$

где $\Delta f_{\text{сигн}}$ – ширина спектра сигнала;
 $\Delta t_{\text{макс}}$ – интервал между моментами прихода сигнала в наиболее разнесенные точки приемной антенны.

Как следует из соотношения (1), для выполнения условия факторизуемости обра-

ботки необходимо накладывать ограничения либо на пространственные размеры антенной решетки, либо на ширину спектра обрабатываемого сигнала, либо на то и другое одновременно. Как правило, условие разделения пространственных и временных структур (1) используется при обработке принимаемого сигнала в антенной решетке с фазовращателями в качестве фазосдвигающих элементов. Для антенной решетки с управляемыми линиями задержки (в качестве фазосдвигающих элементов) ограничения на ширину спектра обрабатываемого сигнала не накладываются [7; 8].

Цель исследования – исследовать метод синтеза алгоритмов факторизуемого пространственно-временного обнаружителя нефакторизуемых (широкополосных в пространственно-временном смысле) сигналов с использованием многоканальной частотной фильтрации в каждом пространственном канале на основе математического аппарата матричных кронекерово-тензорных произведений. Показать, что внедрение исследованного метода позволит обеспечить величину выигрыша в отношении сигнал-помеха не менее (8-12) децибел по сравнению с известными устройствами, использующими, например, подрешетки антенной системы.

Материал и методы исследования

Но при широкоугольном сканировании управляемые линии задержки в качестве фазосдвигающих элементов использовать экономически и конструктивно нецелесообразно ввиду большой общей длины переключаемых кабелей и больших потерь, достигающих величины 10 дБ [1–3]. Например, при сканировании в секторе углов $\theta = 60^\circ$ максимальная длина переключаемых кабелей лишь незначительно отличается от размера раскрытия антенны [4–6]. Однако в настоящее время рассматривают пространственную обработку с применением линий задержки [7; 8], хотя авторы этот момент, как правило, опускают. Это вытекает из аналитических вычислений в данных

работах, когда авторам для преодоления математических сложностей приходится обращаться к помехам типа белого шума, чтобы воспользоваться условием дельта-коррелированности таких процессов с сохранением их факторизуемости. Однако для антенной решетки с фазовращателями условие (1) не выполняется. Это свидетельствует о недостатках методов в существующей теории пространственно-временной обработки.

Нарушение условия (1) возникает в случае больших либо размеров апертуры антенной решетки, либо ширины спектра временной структуры, либо и того и другого вместе. Поэтому известные алгоритмы не позволяют воспользоваться разработанными методами синтеза и анализа отдельной пространственно-временной обработки.

Сложности достижения условий факторизуемости пространственно-временных структур встречаются в радиотехнических системах с крупноапертурными антенными решетками, которые используют для достижения больших дальностей обнаружения высокоскоростных и мало-размерных целей с высокими точностями измерения координат и разрешающими способностями.

В случае нефакторизуемости структур поля в антенной решетке с фазовращателями различные его спектральные составляющие имеют неодинаковые фазовые набег по апертуре, что приводит к нарушению синфазности спектральной структуры сигнала в различных пространственных каналах. Это приводит к снижению эффективности пространственно-временной обработки как полезных сигналов, так и помех.

Пусть широкополосные в пространственно-временном смысле поля характеризуются шириной спектра временной структуры, равной $2\Delta f_{\text{шир}}$. Каждой частотной составляющей $f_0 + \Delta f_i$ временной структуры поля соответствует различный набег фаз за счет распространения широкополосных в пространственно-временном смысле полей вдоль апертуры антенной решетки [3; 5]

$$\begin{aligned} \varphi_{av_0} &= 2\pi(f_0 + \Delta f_i) \frac{d}{c} \sin \theta_{av} = (2\pi f_0 + 2\pi \Delta f_i) \frac{d}{c} \sin \theta_{av} = \\ &= 2\pi f_0 \frac{d}{c} \sin \theta_{av} + 2\pi \Delta f_i \frac{d}{c} \sin \theta_{av} = \varphi_0 + \Delta \varphi_i, \end{aligned} \quad (2)$$

где θ_{av} – пространственный параметр источника излучения сигнала с параметрами α или ν соответственно;

d – шаг эквидистантной антенной решетки;

c – скорость света.

Из данного видно, что для различных спектральных составляющих временных структур поля необходимо обеспечить компенсации различного фазового набега для различных спектральных составляющих. С помощью известных методов факторизуемой обработки данная задача невыполнима.

Из известных работ [1–3] следует, что пространственная обработка широкополосных в пространственно-временном смысле полей в факторизуемом пространственно-временном обнаружителе, предполагающем узкополосность сигнала, приводит к снижению эффективности [4–6].

«Поэтому использование известных ранее методов и математического аппарата, позволявших с определенными допущениями применять теорию, основанную на монохроматическом сигнале, становится неправомерным. Необходим поиск и применение новых методов, адекватных поставленной задаче» [7; 8].

Результаты исследования и их обсуждение

Для реализации эвристических методов обработки широкополосных в пространственно-временном смысле полей в каждом из пространственных каналов предложено применение трансверсальных фильтров [8]. В отечественной литературе [1–3] этот метод обработки широкополосных в пространственно-временном смысле полей позаимствован из иностранных работ и применяется также эвристически без научного подхода к используемому методу синтеза алгоритмов факторизуемой пространственно-временной обработки сигналов с нефакторизуемыми структурами.

Это говорит об отсутствии методов синтеза и анализа алгоритмов обработки широкополосных в пространственно-временном смысле нефакторизуемых полей в радиотехнических системах с крупноапертурными антенными решетками с фазовращателями.

Для достижения преимуществ факторизуемой пространственно-временной обработки сигналов необходимо разработать метод факторизуемой обработки широкополосных в пространственно-временном смысле полей с нефакторизуемыми структурами. Без потери общности алгоритмов пространственно-временной обработки будем полагать, что полезный сигнал имеет спектр, измеримый со спектром помехи.

Исходя из этого, разработаем метод синтеза и анализа пространственно-временной обработки сигналов в крупноапертурных антенных решетках с фазовращателями

в условиях априорной неопределенности детерминированных пространственных и случайных временных структур нефакторизуемых сигналов.

Будем полагать, что пространственная обработка осуществляется в условиях априорной неопределенности детерминированных пространственных структур помехи.

Исходя из условия (1), можно определить направления, позволяющие обеспечить факторизуемость пространственно-временной обработки. Для обеспечения факторизуемости обработки следует уменьшать либо линейные размеры крупноапертурной антенной решетки, т.е. Δt_{\max} , либо ширину спектра обрабатываемого широкополосного в пространственно-временном смысле поля ($2\Delta f_{\text{шир}}$).

Рассмотрим первый метод факторизуемости структур. В этом случае при заданной ширине спектра помехи необходимо принять меры по уменьшению максимального времени запаздывания моментов прихода поля сигнала в наиболее удаленные точки антенны.

Для полезных, широкополосных в пространственно-временном смысле (нефакторизуемых), сигналов данный метод реализуется путем разбиения крупноапертурных антенных решеток на подрешетки, что, как отмечается в [1–3], приводит к увеличению полосы пропускания фазированной антенной решетки. Здесь необходимо сделать замечание. Меньшие линейные габариты подрешеток по сравнению с крупноапертурными антенными решетками позволяют повысить пространственно-временную широкополосность обрабатываемых широкополосных в пространственно-временном смысле полей в подрешетке при сохранении исходной ширины спектра широкополосного в пространственно-временном смысле поля. Такое же решение задачи возможно при обработке не только полезных сигналов, но и помех, широкополосных в пространственно-временном смысле (1). Данный путь получения факторизуемой пространственно-временной обработки сигналов предполагает уменьшение пространственных размеров крупноапертурных антенных решеток при сохранении ширины спектра временной структуры сигнала.

Вместе с тем, как показывают результаты исследований в [9–12], данный метод требует применения управляемых линий задержки между подрешетками. Таким образом, недостатки, присущие обработке в крупноапертурных антенных решетках с управляемыми линиями задержки, сохраняются.

В статье исследована возможность реализации факторизуемой пространственно-временной обработки сигналов при условии выполнения неравенства (1) за счет изменения его левой части, т.е. уменьшения ширины спектра обрабатываемого сигнала.

Анализ выражения (1) показывает, что в этом случае можно пойти по другому пути, а именно, представить широкополосный спектр временной структуры поля в виде суммы узкополосных процессов с шириной спектра каждого – $\Delta f_{\text{шлп}i}$ [9], для которых будут выполняться условия факторизуемости пространственно-временной структуры. В этом случае можно записать [10]

$$\Delta f_{\text{шлп}} = \sum_{i=1}^F \Delta f_{\text{шлп}i}, \quad (3)$$

где $F = \Delta f_{\text{шлп}} / \Delta f_{\text{шлп}i}$

Будем полагать, что разбиение спектра помехи с шириной $\Delta f_{\text{шлп}i}$ осуществляется с помощью прямоугольных полосовых фильтров, когда частотным перекрытием амплитудно-частотных характеристик можно пренебречь [10].

Это позволяет упростить аналитические вычисления без потери общности [10].

С учетом соотношения (3) для i -го частотного поддиапазона введем вектор-столбцы полезного сигнала, помехи и принимаемого сигнала [11–13]

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_i^T &= \mathbf{S}_{ai}^T \otimes \mathbf{S}_{ii}^T; \\ \mathbf{N}_i^T &= \mathbf{N}_{vi}^T \otimes \mathbf{N}_{ii}^T; \\ \mathbf{Y}_i^T &= \mathbf{Y}_{avi}^T \otimes \mathbf{Y}_{ii}^T, \end{aligned} \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_{ai} &= [S_{aik}], \quad k = \overline{1, M}; \\ \mathbf{S}_{ii} &= [S_{iil}], \quad l = \overline{1, L}; \\ \mathbf{N}_{vi} &= [N_{vik}], \quad k = \overline{1, M}; \\ \mathbf{N}_{ii} &= [N_{iil}], \quad l = \overline{1, L}; \\ \mathbf{Y}_{avi} &= [Y_{avik}], \quad k = \overline{1, M}; \\ \mathbf{Y}_{ii} &= [Y_{iil}], \quad l = \overline{1, L}, \end{aligned}$$

вектор-столбцы, соответственно, пространственных и временных структур полезного сигнала, помехи и принимаемого сигнала в i -м частотном поддиапазоне;

\otimes – символ кронекеро-тензорного произведения.

Тогда, принимая во внимание (4), вектор-столбцы обрабатываемых сигналов могут быть представлены в блочном виде [13–15]

$$\begin{aligned} \mathbf{S}^T &= [\mathbf{S}_{ai}^T \otimes \mathbf{S}_{ii}^T]; \quad \mathbf{N}^T = [\mathbf{N}_{vi}^T \otimes \mathbf{N}_{ii}^T]; \\ \mathbf{Y}^T &= [\mathbf{Y}_{avi}^T \otimes \mathbf{Y}_{ii}^T]; \quad i = \overline{1, F}. \end{aligned}$$

Для пространственно-временной обработки нефакторизуемых сигналов можно полагать, что для помехи выполняется условие [9–12]

$$\begin{aligned} M[\mathbf{N}_i] &= M[\mathbf{N}_{vi} \otimes \mathbf{N}_{ii}] = M[\mathbf{N}_{vi}] \otimes M[\mathbf{N}_{ii}] = 0, \\ i &= \overline{1, F} \end{aligned}$$

хотя математическое ожидание пространственной структуры помехи в общем случае не равно нулю ($M[\mathbf{N}_{vi}] \neq 0$).

Тогда ковариационная матрица помехи для факторизуемых пространственной и временной структур помехи может быть представлена в следующем виде [13–15]

$$\Phi_F = M[\mathbf{N}_F \mathbf{N}_F^{*T}] = \mathbf{N}_{vF} \mathbf{N}_{vF}^{*T} \otimes \Phi_{iF}. \quad (5)$$

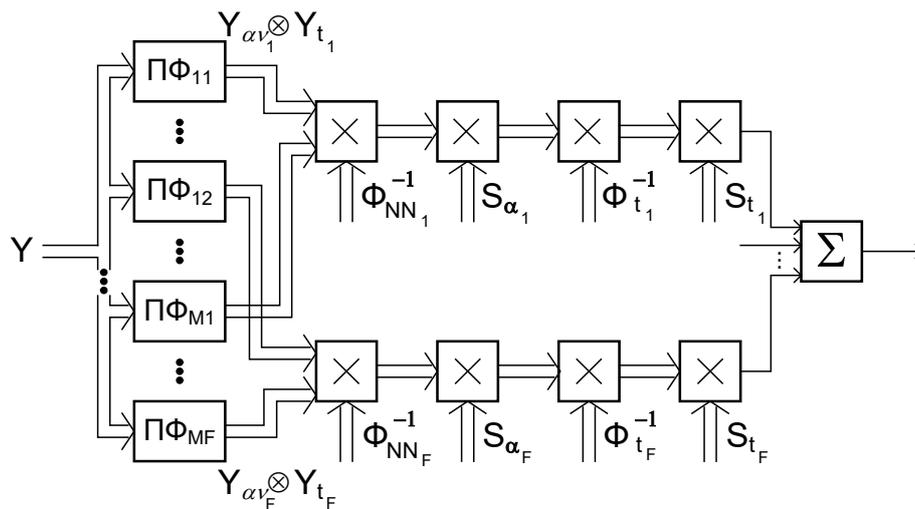
$$\text{Здесь } \Phi_{iF} = M[\mathbf{N}_{iF} \mathbf{N}_{iF}^{*T}]$$

$$\begin{aligned} \mathbf{N}_F &= \mathbf{N}_{vF} \otimes \mathbf{N}_{iF}; \quad \mathbf{N}_{vF} = [\mathbf{N}_{vi}]; \\ \mathbf{N}_{iF} &= [\mathbf{N}_{ii}]; \quad i = \overline{1, F}. \end{aligned}$$

Применение в каждом пространственном канале крупноапертурных антенных решеток многоканальной частотной фильтрации с помощью полосовых фильтров (ПФ) с неперекрывающимися амплитудно-частотными характеристиками АЧХ в случае стационарной широкополосной помехи приводит к блочно-диагональной матрице [13–15]:

$$\Phi_F = \text{diag} \Phi_{Fi}, \quad i = \overline{1, F};$$

$$\Phi_F = \begin{bmatrix} \mathbf{N}_{v1} \mathbf{N}_{v1}^{*T} \otimes \Phi_{t1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \mathbf{N}_{v2} \mathbf{N}_{v2}^{*T} \otimes \Phi_{t2} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \mathbf{N}_{vF} \mathbf{N}_{vF}^{*T} \otimes \Phi_{tF} \end{bmatrix}. \quad (6)$$



Структурная схема, реализующая оптимальный алгоритм факторизуемой пространственно-временной обработки полезных сигналов на фоне нефакторизуемых помех (разработана авторами)

Как следует из выражения (6), обработка с использованием полосовой фильтрации в спектральной области обрабатываемых процессов позволяет получить ковариационную матрицу в блочно-диагональном виде, что сохраняет и упрощает оптимальную факторизуемую обработку и снижает объем вычислительных операций по сравнению с оптимальной нефакторизуемой обработкой

с помощью подрешеток. Данный метод позволяет получить оптимальную факторизуемую пространственно-временную обработку в результате спектральной дискретизации принимаемых нефакторизуемых сигналов [13–15].

С учетом формулы (6) алгоритм, определяющий пространственно-временную обработку в данном случае, может быть записан в следующем виде [13–15]:

$$Z_F = \sum_{i=1}^F (\mathbf{Y}_{\alpha v_i} \otimes \mathbf{Y}_{t_i})^T (\Phi_{v_i}^{-1} \otimes \Phi_{t_i}^{-1})^{-1*} (\mathbf{S}_{\alpha_i} \otimes \mathbf{S}_{t_i})^* =$$

$$= \sum_{i=1}^F (\mathbf{Y}_{\alpha v_i}^T \Phi_{NN_i}^{-1*} \mathbf{S}_{\alpha_i}^*) (\mathbf{Y}_{t_i}^T \Phi_{t_i}^{-1*} \mathbf{S}_{t_i}^*) \quad (7)$$

Здесь $\mathbf{Y}_{\alpha v_i}$ – вектор-столбец пространственной структуры принимаемого сигнала в i -м частотном подканале;

\mathbf{Y}_{t_i} – вектор-столбец временной структуры принимаемого сигнала в i -м частотном подканале;

\mathbf{S}_{α_i} – вектор-столбец пространственной структуры полезного сигнала в i -м частотном подканале;

\mathbf{S}_{t_i} – вектор-столбец временной структуры полезного сигнала в i -м частотном подканале;

$\Phi_{NN_i}^{-1}$ – обратная корреляционная матрица пространственной структуры помехи для i -го частотного подканала;

$\Phi_{t_i}^{-1}$ – обратная корреляционная матрица временной структуры помехи для i -го частотного подканала;

\otimes – символ кронекеро-тензорного произведения.

Структурная схема, реализующая факторизуемую пространственно-временную обработку в соответствии с алгоритмом (7), представлена на рисунке [9; 12; 15].

На структурной схеме полосовая фильтрация в спектральной области для каждого из M -пространственных каналов обозначена ПФ_{ki} , где k – номер пространственного канала, а i – соответствующий частотный поддиапазон.

Таким образом, для оптимальной обработки широкополосных сигналов необходимо в каждом из M пространственных каналов сформировать F частотных подканалов и после их объединения осуществлять известную факторизуемую обработку.

Как следует из схемы, вначале в каждом i -м частотном подканале осуществляется пространственная компенсация помехи. После этого производится согласованное пространственное накопление полезного сигнала, далее временная компенсация помехи, и согласованная фильтрация полезного сигнала. На завершающем этапе обработки осуществляется объединение результатов обработки всех частотных подканалов.

Использование кронекеро-тензорного произведения позволило уйти от проблемы решения интегрально-матричного уравнения и получить аналитические соотношения для оптимальных алгоритмов обработки сигналов с произвольной шириной спектра временной структуры [13–15].

Применение частотной фильтрации в каждом из пространственных каналов позволяет достичь факторизуемой обработки сигналов, чем обеспечивается большая эффективность пространственно-временной оптимальной обработки по сравнению с использованием подрешеток.

В работе [10] показано, что выигрыш в объеме вычислительных операций при обработке в частотной области по сравнению с обработкой во временной области может достигать двух порядков при размерности векторов, равной 10^{10} .

Заключение

Как показывают результаты математического моделирования, внедрение предложенного в статье метода синтеза алгоритмов факторизуемого пространственно-временного обнаружителя нефакторизуемых сигналов с использованием многоканальной частотной фильтрации в каждом пространственном канале в зависимости от значения диапазона частот i -го ($i = 1, \overline{F}$) частотного поддиапазона $\Delta f_{\text{шп}i}$ может обеспечить величину выигрыша в отношении сигнал – помеха не менее (8–12) децибел по сравнению с известными устройствами, использующими, например, подрешетки антенной системы.

Список литературы

1. Григорьев В.А., Щесняк С.С., Гулюшин В.Л., Распаев Ю.А., Лагутенко О.И., Щесняк А.С. Адаптивные ан-

тенные решетки. Учебное пособие в 2-х частях. Часть 1 / Под общей редакцией В.А. Григорьева. СПб: Университет ИТМО, 2016. 179 с.

2. Моделирование и обработка радиолокационных сигналов в Matlab: учеб. пособие / Под ред. К.Ю. Гаврилова. М.: Радиотехника, 2020. 264 с.

3. Хансен Р.С. Фазированные антенные решетки / Перевод с английского, под редакцией А.И. Синани. Второе издание. М.: Техносфера, 2012. 560 с.

4. Григорьев В.А., Щесняк С.С., Гулюшин В.Л., Распаев Ю.А., Хворов И.А., Щесняк А.С. Адаптивные антенные решетки. Учебное пособие в 2-х частях. Часть 2 / Под общей редакцией В.А. Григорьева. СПб: Университет ИТМО, 2016. 118 с.

5. Слока В.К. Радиолокационные станции сверхдальнего обнаружения Радиотехнического института имени Академика А.Л. Минца // История отечественной радиолокации. Изд. 2-е испр., доп. М.: ООО «Издательский дом «Столичная энциклопедия», 2015. С. 368–374.

6. Орлов И.Я., Евсеев А.П., Вьюгин П.Н., Пучков А.В. Анализ проблем создания «сверхразрешающей» цифровой антенной решетки с помощью алгоритма полигармонической экстраполяции // Радиолокация, навигация, связь: труды 24-й Междунар. научн.-техн. конф. Воронеж, 2018. С. 1–12.

7. Справочник по радиолокации / Под ред. М.И. Скольника; пер. с англ.; под общей редакцией В. С. Вербы. В 2 книгах. Книга 1. М.: Техносфера, 2014. 672 с.

8. Евстропов Г.А., Сапрыкин С.Д. Станции дальнего обнаружения НИИ дальней радиосвязи. История, основные характеристики, принципы и особенности построения, перспективы развития // История отечественной радиолокации. Изд. 2-е испр., доп. М.: ООО «Издательский дом «Столичная энциклопедия», 2015. С. 375–406.

9. Пат. 2133077 РФ, МКИ 6 Н 04 В 1/06, 1/10. Пространственно-временной коррелятор / С.М. Гурский, А.И. Гелесев, И.В. Ювченко, Ю.С. Чесноков. Патентообладатель Московское высшее училище радиозлектроники противовоздушной обороны. Заявлено 10.07.97; Зарегистр. 10.07.99.

10. Шанин Ю.И. Применение адаптивной фильтрации для улучшения работоспособности адаптивных оптических систем. Аналитический обзор // Машиностроение и компьютерные технологии. 2019. № 2. С. 34–60.

11. Гурский С.М. Корректирующий метод адаптации радиотехнических систем к влиянию поврежденных элементов антенно-фидерных трактов // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 5. С. 33–38.

12. Пат. 2146076 РФ, МКИ 7 Н 03 М 1/00, 1/12. Аналого-цифровой модуль / А.И. Гелесев, С.М. Гурский, Б.М. Егоров, С.Л. Панов, С.Д. Сапрыкин, И.В. Ювченко. Патентообладатель Московское высшее училище радиозлектроники противовоздушной обороны. Заявлено 28.07.97; Зарегистр. 27.02.00.

13. Порсев В.И., Гелесев А.И., Красько А.Г. Угловое сверхразрешение сигналов с использованием «виртуальных» антенных решеток // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2019. № 4. С. 24–34.

14. Гелесев А. И. Оптимальная пространственно-временная обработка сигналов на фоне узкополосных стационарных гауссовских коррелированных помех // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». 1999. № 4. С. 73–79.

15. Гурский С.М., Данилюк А.С. Методология пространственной обработки сигналов в радиотехнических системах при априорной стохастической фоновой и структурной неопределенности // Научная мысль. № 2-1 (40). Т. 16. 2021. С. 110–115.

УДК 62:725.384:614.841.2

ПОВЫШЕННАЯ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНОСТЬ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

Камаева Э.Д., Фазылова А.В., Дрозд В.А., Насырова Э.С.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Уфа,
e-mail: Nasyrova.ES@ugatu.su

В настоящее время в России в связи с существенным увеличением парка автомобилей резко возросла потребность в пунктах заправки их топливом. При этом широко распространено проектирование и строительство автозаправочных станций в непосредственной близости от потребителей. По этой причине, как в крупных городах, так и на подъездах к ним появляется все больше АЗС, которые в свою очередь являются объектами повышенной опасности. В данной статье приведены основные факторы взрывопожароопасности на АЗС, рассмотрены их типы, а также представлен возможный сценарий развития событий при возникновении чрезвычайной ситуации. Изучены существующие методики оценки рисков и анализа пожарной безопасности, управленческие решения в случае разгерметизации резервуара и пролива топлива из оборудования АЗС. Проанализирована статистика пожаров на автозаправочных станциях с акцентом на произошедшие крупные случаи. В проведенном исследовании в качестве расчетного объекта выбрана АЗС на территории, которой расположены два наземных резервуара с бензином марки АИ-92 и дизельным топливом (ДТ) емкостью 20 м³ каждая. При анализе риска исследованию подлежал резервуар с наиболее опасным жидким топливом – бензином. В качестве расчетных величин определен индивидуальный и потенциальный риск на территории автозаправочной станции, с использованием метода «дерева событий». Анализ полученных результатов показал, что индивидуальный риск в результате воздействия опасных факторов чрезвычайной ситуации на территории АЗС не превышает нормативное значение для расположенных вблизи объекта жилых застроек.

Ключевые слова: АЗС, пожарный риск, индивидуальный риск, потенциальный риск, «дерево событий», пожарная безопасность

INCREASED EXPLOSION AND FIRE HAZARD OF PETROL STATIONS

Kamaeva E.D., Fazylova A.V., Drozd V.A., Nasyrova E.S.

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, e-mail: Nasyrova.es@ugatu.su

Currently, in Russia, due to a significant increase of cars, the need for refueling points has sharply increased. At the same time, the design and construction of petrol stations in the immediate vicinity of consumers is widespread. For this reason, more and more petrol stations appear both in large cities and at their entrances, which in turn are objects of increased danger. Due to the increase in the number of vehicles, the number of petrol stations that are objects of increased danger is growing. This article presents the main factors of explosion and fire hazard at petrol stations, their types are considered, and also presents a possible scenario for the emergency events developing. The existing methods of risk assessment and fire safety analysis, management decisions in case of tank depressurization and fuel spillage from petrol station equipment are studied. The statistics of fires at petrol stations are analyzed with an emphasis on the major cases that have occurred. In the conducted study, a petrol station on the territory where two ground tanks with AI-92 gasoline and diesel fuel with a capacity of 20 m³ each are located was selected as the calculated object. When analyzing the risk, a tank with the most dangerous liquid fuel, gasoline, was subject for investigation. As calculated values, the individual and potential risk on the territory of a petrol station was determined using the «event tree» method. The analysis of the results showed that the individual risk as a result of exposure to hazardous accident factors on the territory of the petrol station does not exceed the normative value for objects located near residential buildings.

Keywords: petrol station, fire risk, individual risk, potential risk, «event tree», fire safety

В настоящее время в России происходит существенный рост количества автомобилей, в результате повышается спрос на горюче-смазочные материалы. Вследствие этого в нашей стране увеличивается количество автозаправочных станций (АЗС). Автозаправочная станция – один из видов малых распределительных нефтебаз, ограниченный определенным участком и состоящий из сооружений и оборудования для обеспечения заправки транспортных средств моторным топливом и маслом (рис. 1).

Согласно [1] существуют следующие типы АЗС: блочные, модульные, контейнерные и передвижные. Модульные АЗС об-

ладают рядом преимуществ: возможность использовать разные типы топливораздаточных колонок; минимальные финансовые затраты при монтаже; быстрая окупаемость. Во многих случаях при строительстве наземное расположение резервуара является единственным возможным вариантом при проектировании автозаправочных станций из-за геологических и гидрогеологических условий, а также отсутствия условий по размещению подземных коммуникаций. Однако у модульных, по сравнению с традиционными АЗС, существует недостаток – повышенная взрывопожароопасность из-за наличия в своем составе наземных резервуаров для жидких топлив.

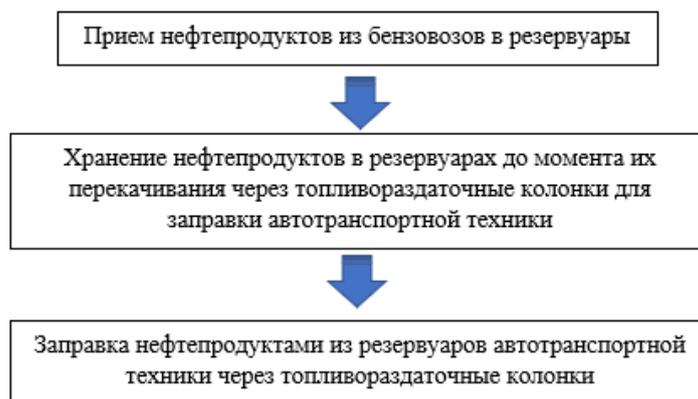


Рис. 1. Технологическая схема автозаправочной станции

В последние годы АЗС трансформируются под автозаправочные комплексы, на территориях которых размещаются автосервисы, кафе или магазины. При размещении объектов сервисного обслуживания на АЗС существуют противоречия [1]. На территории автозаправочных комплексов хранятся значительные объемы бензина и дизельного топлива, что делает их пожароопасными и взрывоопасными объектами.

Причинами аварий на АЗС являются [2]:

1. Низкое качество диагностики оборудования, коррозия резервуаров и трубопроводов.

2. Нарушение персоналом должностных и производственных инструкций по обслуживанию оборудования; несоблюдение техники безопасности.

3. Заправка транспорта с включенным зажиганием.

4. Курение на территории АЗС.

5. Переполнение транспортных баков топливом, вызванное повреждением топливораздаточных колонок.

6. Грозвые разряды и т.д.

Российская Федерация является одной из лидирующих стран по количеству пожаров на автозаправочных станциях. 23 декабря 2019 г. в Чечне на одной из автозаправочных станций загорелись цистерны с бензином и сжиженным газом. Общая площадь пожара составила около 500 м², в тушении принимали участие 30 человек и шесть единиц техники.

31 июля 2020 г. в Краснодарском крае на газовой АЗС произошел взрыв с последующим горением. Причиной пожара стало то, что водитель заправляющейся «Газели» начал движение с неотсоединенным топливно-заливным шлангом, вследствие чего произошел хлопок. Общая площадь пожара составила 300 м². 10 августа 2020 г. на газозаправочной станции в Вол-

гограде осуществлялся слив сжиженного углеводородного газа из автоцистерны в подземные резервуары. В процессе газозавозная смесь воспламенилась, а затем произошел взрыв. Облако огня от взрыва поднялось на высоту 153 м. 14 июня 2021 г. в Новосибирске произошел огромный взрыв на автозаправочной станции. Пламя от взрыва поднялось в небо примерно на 138 м, площадь пожара составила более 1,5 тыс. м² [3].

При наличии дополнительных объектов на территориях АЗС для обеспечения требований пожарной безопасности необходим расчет пожарного риска [4]. Также многие ученые проводят различные исследования, посвященные теме пожаровзрывобезопасности на АЗС. Например, в работе [5] авторы разрабатывают сценарий возможного развития событий при возникновении аварийной ситуации – разгерметизации резервуара с бензином. Анализ производится с использованием метода «дерева отказов» и «дерева событий», а также учитываются литературно-справочные данные об отказах оборудования.

Авторами [6] разработана методика, основанная на множественном регрессионном анализе статистических данных, для получения модели оценки рисков и анализа пожарной безопасности автозаправочных станций. В исследовании используются данные об окружающей среде, нарушениях требований охраны труда и техники безопасности, зафиксированные во время использования и техобслуживания АЗС.

При разливе нефтепродуктов и в последующем их воспламенении в радиус поражения попадает сама территория АЗС и близко находящиеся к ней здания, сооружения и объекты. Данную проблему в своей работе рассмотрели Д.Ю. Мартынова и др. [7]. Также они дали оценку месту образования взрывоопасных концентраций горю-

чих смесей и определили вероятность поражения людей, находящихся вблизи АЗС при сгорании топливно-воздушной смеси.

В.А. Лей [8] рассматривает управление пожарными рисками как мероприятие для целей прогнозирования вероятных сценариев профилактики и развития взрывов и пожаров на автозаправочных станциях. В его работе описаны управленческие решения в случае пролива из оборудования АЗС топлива, а также необходимости безопасной эвакуации людей и минимизированию неблагоприятных последствий от возможной аварии.

Авторами [9] проводится исследование пожаров в автомобильных цистернах на АЗС, причиной которых является разгерметизация сливного патрубка. Также выявляются отдельные особенности таких пожаров, даются некоторые рекомендации по профилактике возгораний автоцистерн на стационарных автозаправочных станциях.

В исследованиях [10–12] проведен обзор статистики пожаров на АЗС. Авторами определены основные причины возникновения возгораний, такие как нарушение правил работы с электрооборудованием, при технологических процессах; несоблюдение требований пожарной безопасности при проведении ремонтных работ. Приведены рекомендации для профилактики пожаров на автозаправочных станциях.

При эксплуатации АЗС возникает не только пожарная, но и экологическая опасность. Например, для ее снижения А.Ш. Мамедов в своей работе [13] предлагает систему улавливания и рекуперации паров «ЭРЕСТ»: бензиновый конденсат, отделяясь от воды, возвращается в резервуар. Это приводит к сокращению потерь от реализации и хранения бензинов. Целью данной работы является исследование пожаровзрывоопасности типовой модульной АЗС с оценкой индивидуального риска.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования выбрана условная модульная АЗС, на территории которой расположены два наземных резервуара с бензином марки АИ-92 и дизельным топливом (ДТ) емкостью 20 м³ каждая. При анализе риска исследованию подлежал резервуар с наиболее опасным жидким топливом – бензином.

Анализ пожарного риска производится согласно приказу МЧС России от 10.07.2009 г. № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах». В качестве расчетных величин определим индивидуальный и потенциальный риск на территории АЗС.

Анализ пожарного риска проводится путем определения пожарной опасности АЗС с выделением возможных пожароопасных аварийных ситуаций и их причин и параметров для каждой ситуации. Для выявленных ситуаций строятся сценарии возникновения и развития пожаров, влекущих за собой гибель людей. Анализ условий развития аварийных ситуаций производится на основе анализа «дерева событий». Исходные данные для расчета представлены в таблице.

Исходные данные

Параметр	Величина
Объем	20 м ³
Степень заполнения	90 %
Плотность бензина	760 кг/м ³
Низшая рабочая теплота сгорания	44000 кДж/кг
Молярная масса бензина	95,3 кг/кмоль
Расчетная температура	22°C
Площадь обвалования	120 м ²

Масса жидкости, поступившей в окружающую среду, определялась по методике [14].

Результаты исследования и их обсуждение

На АЗС достаточно часто происходит пролив нефтепродуктов, что предполагает образование паровоздушной смеси (ПВС) с концентрацией большей, чем нижний концентрационный предел распространения пламени, тем самым увеличивая риск возникновения пожара или взрыва, так как техническое оборудование модульной автозаправочной станции располагается на открытой площадке (рис. 2).

В резервуаре объем жидкости, поступившей в окружающую среду, составляет 18 м³, масса опасного вещества – 13,68 т и площадь пролива – 120 м² (площадь пролива принята равной площади обвалования). Расчет вероятности возникновения аварий выполнен с использованием методики [14] и анализа «дерева событий», который используется для анализа условий развития аварийных ситуаций (рис. 3).

Результат вероятности разгерметизации резервуара по сценарию «пожар пролива» составляет $5,76 \cdot 10^{-8}$, «огненный шар» – $2,4 \cdot 10^{-9}$, «взрыв» – $7,2 \cdot 10^{-9}$ (частота разгерметизации резервуара принята согласно [13] – $3 \cdot 10^{-7}$). Соответственно, построение полей опасных факторов пожара проводится для пожара пролива и огненного шара с расчетом теплового излучения и для взрыва паровоздушной смеси с расчетом избыточного давления.



Рис. 2. Возможный сценарий развития событий при возникновении чрезвычайной ситуации на АЗС



Рис. 3. «Дерево событий» при разгерметизации резервуара

Максимальное значение интенсивности теплового излучения пожара пролива получено на расстоянии 10 м и равно 25 кВт/м^2 , а для огненного шара на том же расстоянии 79 кВт/м^2 . Возможно воздействие теплового излучения на работников АЗС с получением ожогов различной степени, вплоть до гибели в зависимости от местонахождения работника от места аварии. Избыточное давление взрыва на расстоянии 10 м составит 59 кПа.

При реализации рассматриваемых аварий существует вероятность повреждения и разрушения соседних зданий и поражения как работников АЗС, так и людей, находящихся вблизи от места аварии.

Заключение

Анализ полученных результатов показывает, что индивидуальный риск в результате воздействия опасных факторов аварии на территории АЗС не превышает нормативное значение для объектов, расположенных вблизи жилых застроек ($1 \cdot 10^{-8}$) [14]. Следовательно, можно сделать вывод о том, что пожарная безопасность исследуемого объекта обеспечивается. Однако для поддержания пожарной безопасности требуется уделять особое внимание вопросам безопасности на АЗС, разрабатывать и совершенствовать уже имеющиеся мероприятия по предотвращению возникнове-

ния чрезвычайных ситуаций. При эксплуатации оборудования на автозаправочных станциях необходимо соблюдать правила техники безопасности работы с техническим и электрическим оборудованием.

Список литературы

1. СП 156.13130.2014. Станции автомобильные заправочные. Требования пожарной безопасности. ФГБУ ВНИИ-ПО МЧС России. Дата введения 01.07.2014 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200110842> (дата обращения: 12.04.2022).
2. Подгорный Д.Д., Пронская Д.А., Бондаренко М.А. Проблема обеспечения пожарной безопасности на автозаправочных станциях самообслуживания // Пожарная и технософферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2020. № 3. С. 405–408.
3. Новосибирск онлайн [Электронный ресурс]. URL: <https://ngs.ru/text/gorod/2021/06/15/69970787/> (дата обращения: 08.04.2022).
4. Федеральный закон от 22.07.2008 № ФЗ-123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 12.04.2022).
5. Козлова Е.Б., Мелихов И.А. Анализ пожарной опасности эксплуатации резервуаров с нефтепродуктами на многоопливной АЗС «УФАОЙЛ» // Цифровая наука. 2020. № 2–3. С. 19–26.
6. Хамидов М.К., Евдокимов А.А. Модель оценки рисков и анализа пожарной безопасности АЗС // Научные междисциплинарные исследования. 2021. № 3. С. 112–115.
7. Мартынова Д.Ю., Букалов Г.К., Манаева А.Р. Проблемы обеспечения противопожарного режима при эксплуатации автозаправочных станций // Вестник современных исследований. 2019. № 3.11. С. 121–123.
8. Лей В.А. Управление пожарным риском на АЗС // Modern Science. 2021. № 5–4. С. 277–280.
9. Маринина Д.С., Шмидт З.В., Сидорович К.А., Сиволоб М.А., Полехина А.М. Пожарная безопасность автозаправочных станций региона // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2019. № 1. С. 354–358.
10. Миньков Н.А., Пугаев Д.В. Пожарная безопасность автозаправочных станций // XLVII Огарёвские чтения. 2019. С. 426–430.
11. Туранов А.Э. Вопросы пожарной безопасности на автозаправочных станциях // Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности. 2020. С. 60–63.
12. Белозерова Д.А., Черников А.И. Обеспечение пожарной безопасности автозаправочных станций // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2019. Т. 1. №. 10. С. 27–30.
13. Мамедов А.Ш. К вопросу о снижении пожарной и экологической безопасности автозаправочной станции // Экологическая и технософферная безопасность горнопромышленных регионов. Проблемы совершенствования управления природными и социально-экономическими процессами на современном этапе: материалы IX Международной научно-практической конференции, Екатеринбург-Бишкек, 25 мая 2021 года. Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2021. С. 144–150.
14. Приказ МЧС РФ от 10.07.2009 № 404 (ред. от 14.12.2010) «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (Зарегистрировано в Минюсте России 17.08.2009 № 14541) [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_91229/ (дата обращения: 12.04.2022).

УДК 004.8

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ТЕКСТОВ ОДНОЙ ТЕМАТИКЕ

Каспранская А.И., Сметанина О.Н.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»,
Уфа, e-mail: annakaspranskaya@gmail.com, smoljushka@mail.ru

Данная статья посвящена определению принадлежности двух текстов одной теме. В ходе работы был проведен анализ современного состояния проблемы, показавший актуальность работы и выявивший слабые стороны в предложенных решениях: работа только с большим объемом текстов, использование заранее подготовленных корпусов близости языка. Важной особенностью поставленной перед авторами задачи является произвольная и заранее неизвестная тематика текстов, которая не позволяет обучить собственную модель на некотором ограниченном наборе данных. Для преодоления этого ограничения была использована готовая модель для построения эмбедингов, которая обучена на большом наборе текстов русской художественной литературы, включающем в себя более 300 тыс. текстов, с размером словаря 5×10^5 элементов. В основу предложенного решения положены перевод текстов в векторное представление и нахождение косинусовой близости между ними. Точность работы была определена в ходе вычислительного эксперимента и составила 97,9 % на наборе объемом 1000 пар текстов, основанном на наборе парафраз для русского языка. Данное значение точности показало работоспособность предлагаемого автором решения проблемы определения принадлежности текстов общей теме.

Ключевые слова: обработка текстов на естественном языке, эмбединг, косинусовая близость, принадлежность текстов, семантическая близость текстов, модель машинного обучения

APPROACH TO THE ASSESSMENT OF TEXTS BELONGING TO THE SAME SUBJECT

Kaspranskaya A.I., Smetanina O.N.

Ufa State Aviation Technical University, Ufa,
e-mail: annakaspranskaya@gmail.com, smoljushka@mail.ru

This article is devoted to determining whether two texts belong to the same topic. In the course of the work, an analysis of the current state of the problem was carried out, which showed the relevance of the work and revealed the weaknesses in the proposed solutions: work only with a large amount of texts, the use of pre-prepared corpora of language proximity. An important feature of the task set before the authors is the arbitrary and previously unknown subject matter of the texts, which does not allow training your own model on some limited data set. To overcome this limitation, a ready-made model for building embeddings was used, which was trained on a large set of texts of Russian fiction, including more than 300 thousand texts, with a dictionary size of 5×10^5 elements. The proposed solution is based on the translation of texts into a vector representation and finding the cosine proximity between them. The accuracy of the work was determined in the course of a computational experiment and amounted to 97.9 % on a set of 1000 pairs of texts based on a set of paraphrases for the Russian language. This value of accuracy showed the operability of the solution proposed by the author of the problem of determining whether texts belong to a common theme.

Keywords: natural language processing, embedding, cosine proximity, text ownership, semantic proximity of texts, machine learning model

Технологии искусственного интеллекта стремительно развиваются и позволяют решить многие задачи, что зачастую ранее сделать было невозможно. Вопросы лингвистического взаимодействия машины и человека связаны с областью обработки естественного языка. Одним из примеров решения задач в этой области является создание чат-ботов, таких что человек не всегда поймет, что с ним общается «искусственный интеллект». В целом область обработки естественного языка включает в себя множества задач, таких как распознавание речи, машинный перевод, выявление спама, голосовые помощники и пр.

В области анализа текста немаловажную роль играет задача оценки сходства

текстов, в том числе и семантического. Среди исследователей в области обработки естественного языка, посвятивших свои работы оценке сходства текстов, можно отметить таких авторов, как В.Б. Барахнин, В.А. Нехаева, А.М. Федотов [1], А.Е. Письмак, А.Е. Харитонов, Е.А. Цопа, С.В. Клименков [2], А.В. Крюкова [3], Хиен Т. Нгуен, Фук Х. Дунг [4], А. Розева, С. Зеркова [5], А.Х. Хакимова, М.М. Чарнин, А.А. Клоков, Е.Г. Соколов [6], Б. Маакке, С. Оджо, Т. Зува [7].

Активный интерес исследователей к вопросу автоматической обработки текста подтверждает актуальность тематики в области решения вопроса об оценке семантической близости текстов. Ряд работ посвящен математической оценке сход-

ства текстов, что не всегда может учитывать смысловую часть слова. Например, использование меры близости вместо меры сходства может породить ошибочные результаты (возможно ошибочное использование меры Левенштейна и др.). В другой части исследований можно обратить внимание, что решение связано с определенной заранее известной тематикой, построением ключевых слов либо векторного представления слов по заранее заданным текстам. Анализ современного состояния проблемы позволил сделать заключение, что такие решения не подходят для заранее неизвестных текстов произвольной тематики.

Исследование посвящено определению принадлежности двух текстов одной теме. В ходе работы необходимо провести анализ современного состояния проблемы, рассмотреть предложенные решения. Важной особенностью поставленной задачи является произвольная и заранее неизвестная тематика текстов, которая не позволит обучить собственную модель на некотором ограниченном наборе данных.

Современное состояние проблемы

В рамках решения задач NLP, например расширения запросов при поиске, оценке схожести текстов и др., используются различные меры сходства.

Для оценки меры близости текстов могут использоваться следующие метрики: с использованием n-грамм, расстояние Левенштейна, вычисление самых длинных

подпоследовательностей, подстрок, косинусовая близость и пр.

Автор А.В. Крюкова в своей работе [3] при сравнении различных мер показала, что наибольшая важность для итогового решения имеет косинусовая близость.

Для оценки близости наборов текстов также используются алгоритмы кластеризации с выделением некоторых характеристик текстов [1], при этом методы кластеризации нельзя применить при оценке смысловой близости двух текстов.

Одним из способов оценки могут служить алгоритмы с использованием заранее подготовленных корпусов для языка [8], в которых для каждого слова определена его семантическая близость с другими словами. К сожалению, такие корпуса разработаны не для всех языков или не находятся в свободном доступе.

Результаты анализа современного состояния проблемы показали, что нужно разработать подход, позволяющий оценить принадлежность двух текстов одной тематике.

Постановка задачи

Формальная постановка задачи может быть представлена с использованием нотации IDEF0 (рис. 1).

Для задачи оценки сходства заранее неизвестных текстов на русском языке на произвольные темы используется функция определения принадлежности текстов одной теме.



Рис. 1. Формальная постановка задачи определения семантической близости текстов

Дано: два произвольных текста – $text_j$ где $j=1, 2$, состоящих из отдельных слов $text_j = (t_{ij}, \dots, t_{mj})$, $text_j$ – j -й текст, t_{ij} – i -е слово в j -м тексте, n – количество уникальных слов.

Определить: значение принадлежности –

$$sim(text1, text2) = \begin{cases} 1, & (text1 \in A) \wedge (text2 \in A) \\ 0, & (text1 \notin A) \vee (text2 \notin A) \end{cases}$$

где $sim(text1, text2)$ – функция определения принадлежности текстов одной теме, $text1$ и $text2$ – два текста, для которых определяется принадлежность, A – некоторая тема, которой могут принадлежать тексты.

На вход программы подается два текста, на выходе получаем числовое значение семантической близости из диапазона $[0, 1]$. При этом, чем значение ближе к 1, тем ближе семантическая близость текстов.

Предлагаемый подход к решению задачи

В постановке задачи имеется два текста на различные, заранее не определенные темы. Неопределенность темы является важной особенностью данной задачи, так как это ограничение не позволяет натренировать собственную модель машинного обучения для задачи классификации. Тексты

представлены на русском языке. Предлагается следующий алгоритм решения (рис. 2).

Для обработки текста машиной необходимо привести его к более подходящему для обработки виду. Все шаги алгоритма рассмотрены на примере текста о центральном процессоре: «Центральный процессор – электронный блок либо интегральная схема, исполняющая машинные инструкции (код программ), главная часть аппаратного обеспечения компьютера или программируемого логического контроллера. Иногда называют микропроцессором или просто процессором».

Проводится процесс лемматизации, то есть слова заменяются нормальной формой. Такой набор слов называется набором токенов. Далее токены собираются в мешок слов. Мешок слов – представление текста в виде набора нормализованных уникальных слов текста. Мешок слов переводится в мешок векторов, то есть каждому элементу сопоставляется вектор, полученный из модели машинного обучения.

Текст подготовлен, и для определения близости текстов было расширено следующее правило – чтобы определить близость двух слов, нужно перевести их в векторы и посчитать косинус угла между ними.

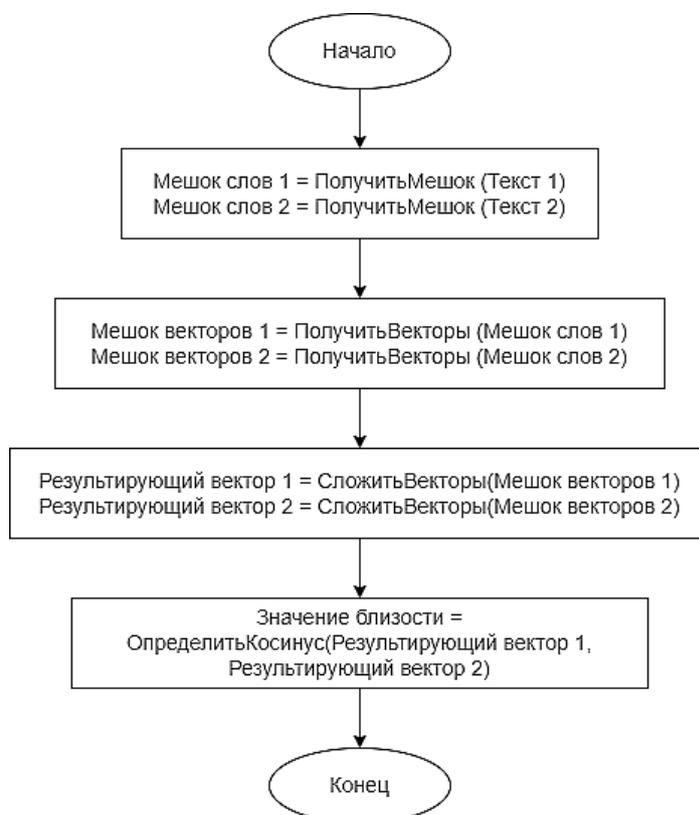


Рис. 2. Алгоритм решения задачи оценки близости текстов

Алгоритм перевода текстов можно описать следующим образом:

1. Для каждого токена из текста подбираем эмбединг (вектор). Можно представить текст как

$$text_j = (t_{j1}, \dots, t_{jn}) \Rightarrow (e_{j1}, \dots, e_{jn}) = emb_j,$$

где $text_j$ – набор токенов входящих в j -й текст, t_{ij} – i -й токен в j -м тексте, e_{ij} – i -й эмбединг (вектор) в j -м тексте, n – количество уникальных токенов в тексте и соответствующих векторов, emb_j – представление текста в виде набора векторов.

2. Складываем все вектора и получаем результирующий для всего текста

$$ResV_j = \sum emb_j,$$

где $ResV_j$ – результирующий вектор для текста j , emb_j – набор соответствующих токенов текста векторов.

Так, тексты определяются в n -мерном векторном пространстве (рис. 3).

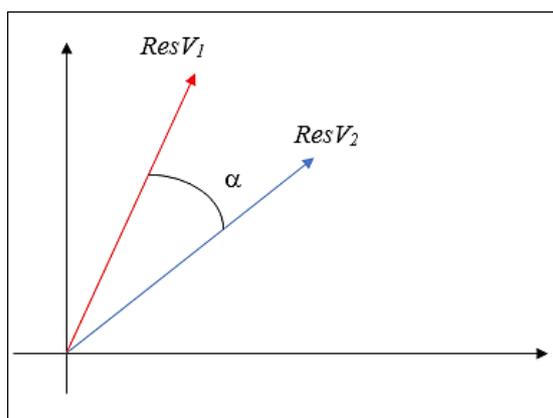


Рис. 3. Представление текстов в виде векторов

Представление в векторном пространстве такое, что чем ближе находятся векторы друг к другу, тем более близкие значения они представляют с точки зрения семантики. Из чего следует, что угол α на техническую тему – «Микропроцессор – процессор (устройство, отвечающее за выполнение арифметических, логических операций и операций управления, записанных в машинном коде), реализованный в виде одной микросхемы или комплекта из нескольких специализированных микросхем (в отличие от реализации процессора в виде электрической схемы на элементной базе общего назначения или в виде программной модели)»;

2) текст из ботаники – «Ромашка – род многолетних цветковых растений семейства Астровые, или Сложноцветные, объединяет

около двадцати видов невысоких пахучих трав, цветущих с первого года жизни».

Для всех текстов были посчитаны результирующие векторы, а после косинусовые меры близости для пар текстов:

1. Центральный процессор – микропроцессор (близость – 0,8698).

2. Центральный процессор – ромашка (близость – 0,1428).

Полученные результаты показывают, что тексты на одну тематику, техническую, имеют более близкое значение семантической близости, чем тексты на разные тематики.

При решении задачи использованы библиотеки проекта Natasha, которые предоставляют инструменты для решения базовых задач обработки естественного русского языка, а именно – сегментацию на токены и предложения, синтаксический и морфологический анализ, лемматизацию, извлечение именованных сущностей. Для сопоставления токенов эмбедингов использовалась модель `huddlit_12B_500K_300d_100q` из библиотеки `Navес`. Эта модель имеет размер словаря в 500 000 записей и была обучена на текстах художественной литературы объемом 145 GB, благодаря этому она покрывает 98 % слов в художественных текстах [9].

Вычислительный эксперимент

Для проверки работоспособности предлагаемого решения задачи и оценки его корректности был составлен набор из 1000 парафраз на основании корпуса парафраз В. Гудкова и О. Митрофановой [10]. Оригинальный корпус парафраз был размечен по смыслу предложений. Фразы: 1. «У меня есть пять яблок» и 2. «У меня нет пяти яблок» ранжировались как различные. Для рассматриваемого исследования такое ранжирование не подходит, так как цель – определить принадлежность текстов одной теме. А в данном случае обе фразы о яблоках. Поэтому способ ранжирования был изменен.

Для определения границы принадлежности текста теме была проведена серия из 8 запусков алгоритма с разными показателями в диапазоне [0,4; 0,57]. Границы диапазона определялись в случае существенного ухудшения точности алгоритма. Результаты прогонов представлены на рис. 4, и итоговая граница была определена – 0,51. Это значит, что если значение косинусовой близости текстов больше или равно этому значению, то тексты определяются как принадлежащие одной теме, в противном случае тексты принадлежат различным темам.

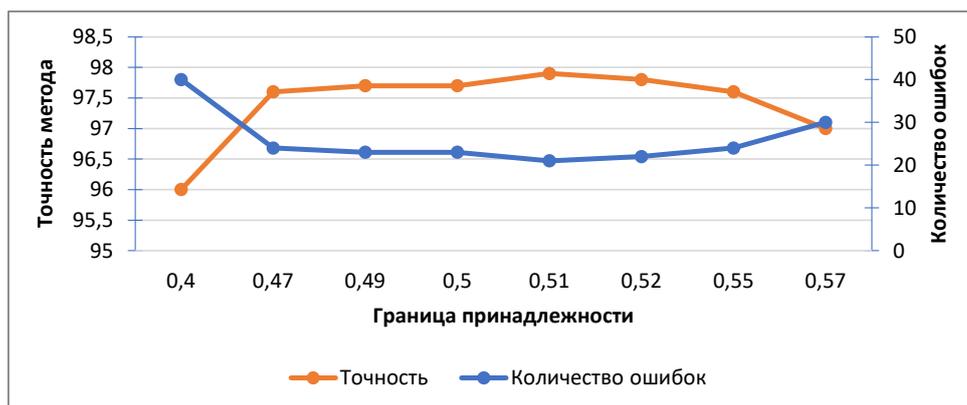


Рис. 4. Подбор значения для определения границы принадлежности текста

В результате прогона набора из тысячи пар текстов была получена точность решения – 97,9 %. Это является хорошим показателем для модели, обученной на художественной литературе русского языка без дополнительного дообучения узким предметным областям, которым могли принадлежать тексты.

Заключение

Результаты анализа текущего состояния проблемы в области оценки сходства текстов показали ее актуальность и необходимость более эффективного решения задачи.

В основу предложенного решения положены перевод текстов в векторное представление и нахождение косинусовой близости между ними. Особенностью решения является использование модели, обученной на больших наборах разнообразных текстов на русском языке. Это позволяет процесс распознавания близости между текстами представить наиболее похожим на то, как это делает человек. Однако модель представляет и самое уязвимое место в решении: если тексты специфические, то модель может не знать используемых слов; если сравниваются тексты не очень близкие друг другу по смыслу, то для корректной работы требуется дополнительная обработка текстов – нахождение уникальных слов внутри тем с отбрасыванием лишних.

При решении была использована готовая модель для построения эмбедингов (библиотека проекта Natasha), которая обучена на большом наборе текстов русской художественной литературы, включающем в себя более 300 тыс. текстов, с размером словаря 5×10^5 элементов. Точность работы была определена в ходе вычислительного эксперимента и составила 97,9 % на наборе объемом 1000 пар текстов, основанном на наборе парафраз для русского языка.

Идея показала свою работоспособность и может иметь практическое применение в решении задач определения близости текстов для различных тематик.

Результаты исследований, приведенные в статье, частично поддержаны грантом РНФ 22-19-00471.

Список литературы

1. Барахнин В.Б., Нехаева В.А., Федотов А.М. О задании меры сходства для кластеризации текстовых документов // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2008. № 1. С. 87–97.
2. Письмак А.Е., Харитонов А.Е., Цопа Е.А., Клименков С.В. Оценка семантической близости предложений на естественном языке методами математической статистики // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. № 2. С. 324–330.
3. Крюкова А.В. Определение семантической близости текстов с использованием инструмента DK Pro Similarity // Компьютерная лингвистика и вычислительные онтологии. Выпуск 1. 2017. С. 87–97.
4. Hien T. Nguyen, Phuc H. Duong, Cambria E. Learning short-text semantic similarity with word embeddings and external knowledge sources. Knowledge-Based Systems. 2019. Vol. 182. 104842.
5. Rozeva A., Zerkova S. Assessing semantic similarity of texts. Methods and algorithms. AIP Conference Proceedings. 2017. P. 060012-1–060012-8.
6. Khakimova A.Kh., Charnine M.M., Klovov A.A., Sokolov E.G. Approaches to assessing the semantic similarity of texts in a multilingual space. Physics and technology proceedings (CPT2020). Nizhny Novgorod, 2020. P. 3–9.
7. Maake, Benard Zuva, Tranos. A Comparative Analysis of Text Similarity Measures and Algorithms in Research Paper Recommender Systems. Conference on Information Communications Technology and Society (ICTAS). 2018. P. 1–5.
8. Ahmed El-Kishky, Yanglei Song, Chi Wang, Clare Voss, Jiawei Han. Scalable Topical Phrase Mining from Text Corpora. Proceedings of the VLDB Endowment, 2014. Vol. 8. P. 305–316.
9. Проект Natasha – набор Python-библиотек для обработки текстов на естественном русском языке: официальный сайт. URL: <https://natasha.github.io/navec/> (дата обращения: 01.04.2022).
10. Гудков В., Митрофанова О. Автоматически ранжируемый русский корпус парафраз для генерации текста // Материалы четвертого семинара по нейронной генерации и трансляции. 2020. С. 54–59.

УДК 004.042:004.315

ПОРАЗРЯДНО-ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ДВОИЧНАЯ ОБРАБОТКА БЕЗ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА В АСПЕКТАХ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И СНИЖЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ

Ромм Я.Е.

*Таганрогский институт имени А.П. Чехова (филиал)
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)»,
Таганрог, e-mail: romm@list.ru*

В работе изложен метод выполнения групповых и бинарных арифметических операций, в котором не используется вычисление переноса. Перенос не вычисляется в том смысле, как это принято понимать в теории и практике синтеза сумматоров на основе булевских формул и функций. Для сложения двух двоичных полиномов выполняется предварительный шаг – параллельно по всем разрядам складываются пары коэффициентов равного веса. Двоичные коэффициенты сумм размещаются согласно весу разрядов, образуя двухрядный код промежуточной суммы. В результате все потенциальные переносы оказываются взаимно отделенными, они не могут налагаться друг на друга. На этой основе они реализуются взаимно независимо и параллельно. Предложены схемы сложения двоичных полиномов с единичной временной сложностью независимо от числа разрядов. Метод распространяется на групповое суммирование потока слагаемых. Аналогично может обрабатываться поток данных для умножения и однотипных операций, содержащих сложение и умножение. Априори сохраняется последовательное программное управление. В дополнение предложены схемы параллельно-конвейерной поразрядно-параллельной обработки без вычисления переноса с высокой оценкой производительности при малой глубине загрузки конвейера. Рассмотрены видоизменения метода на случай разрядной сетки произвольной длины, что позволяет снижать погрешность вычислений посредством исключения потерь значащих цифр мантис операндов. Представлено обоснование метода, приведены примеры вычислений и схемы базовых операций поразрядно-параллельной обработки, даны оценки временной сложности и количества элементов реализующих устройств.

Ключевые слова: параллельные сумматоры, потоковая обработка, параллельно-конвейерные вычислительные системы, поразрядно-параллельная обработка без вычисления переноса, разрядная сетка произвольной длины

BITWISE-PARALLEL BINARY PROCESSING WITHOUT TRANSFER CALCULATION IN TERMS OF PERFORMANCE IMPROVEMENT AND ERROR REDUCTION

Romm Ya.E.

*A.P. Chekhov Taganrog Institute (branch) of Rostov State University of Economics,
Taganrog, e-mail: romm@list.ru*

The paper describes a method for performing group and binary arithmetic operations, which does not use the transfer calculation. The transfer is not calculated in the sense that it is commonly understood in the theory and practice of synthesizing adders based on Boolean formulas and functions. To add two binary polynomials, a preliminary step is performed – pairs of coefficients of equal weight are added in parallel across all digits. The binary coefficients of the sums are placed according to the weight of the digits, forming a two-row code of the intermediate sum. As a result, all potential transfers are mutually separated, they cannot be superimposed on each other. On this basis, they are implemented mutually independently and in parallel. Schemes of addition of binary polynomials with a single time complexity are proposed, regardless of the number of digits. The method applies to the group summation of the flow of terms. Similarly, a data stream for multiplication and similar operations containing addition and multiplication can be processed. A priori, consistent program management is maintained. In addition, parallel-conveyor schemes of bitwise-parallel processing without transfer calculation with a high performance rating at a low depth of loading of the conveyor are proposed. Modifications of the method for the case of a bit grid of arbitrary length are considered, which allows reducing the error of calculations by eliminating the loss of significant digits of the operands' mantissas. The substantiation of the method is presented, examples of calculations and schemes of basic operations of bitwise-parallel processing as well as the estimates of the time complexity and the number of elements of implementing devices are given.

Keywords: parallel adders, streaming processing, parallel-pipeline computing systems, bitwise-parallel processing without transfer calculation, bit grid of arbitrary length

Постановка вопроса. В существующих арифметико-логических устройствах используются операции с плавающей точкой, а при сложении мантис применяются схемы вычисления переноса. То и другое ограничивает длину разрядной сетки. Это отрицательно влияет на точность вычислений и кроме того ограничивает быстродей-

ствие вычислительной системы вследствие последовательного тактирования выполнения переноса. В работе ставится вопрос о возможности выполнения арифметических операций без вычисления переноса, что позволило бы их выполнять параллельно по всем разрядам операндов с удлиненной разрядной сеткой. Излагаемый подход

опирается на методы [1–3], которые существенно корректируются, в частности, для адаптации к произвольной длине разрядной сетки.

Цель работы – показать возможность эквивалентного обычной арифметике выполнения арифметических операций без вычисления переноса и оценить потенциал роста производительности и снижения погрешности вычислительной обработки на этой основе.

Исходные соотношения. Групповая обработка потока слагаемых. Вначале излагается подход к обработке слагаемых, его особенности используются в дальнейшем как основа метода в целом. Пусть требуется определить значение произвольно взятой частичной суммы S_p ряда $S = \sum_{k=1}^{\infty} a_k$ (ограниченного потока) из $(n+1)$ -разрядных целочисленных двоичных слагаемых

$$S_p = \sum_{k=1}^P a_k, \quad (1)$$

где

$$a_k = \alpha_n \alpha_{n-1} \dots \alpha_{n-\ell} \dots \alpha_1 \alpha_0 \quad (2)$$

и

$$\alpha_{n-\ell} = \left. \begin{matrix} 0 \\ 1 \end{matrix} \right\} \forall \ell \in \overline{0, n}. \quad (3)$$

Слагаемые (1) разбиваются на группы с произвольно фиксированным количеством N слагаемых в группе. Пусть, например, в (1)–(3) $P = 16, n+1 = 4$, и

$$S_{16} = 1101 + 1011 + 1111 + 1011 + 0101 + 1011 + 1110 + 0011 + 1101 + 0110 + 1111 + 1000 + 1000 + 0111 + 0001 + 1110 + 1111. \quad (4)$$

Слагаемые (4) слева направо разбиваются на группы по $N = 4$ в порядке расположения. Первая группа

$$\overline{S}_4^1 = 1101 + 1011 + 1111 + 1011$$

обрабатывается следующим образом:

$$\begin{array}{r} 1\ 1\ 0\ 1 \\ 1\ 0\ 1\ 1 \\ 1\ 1\ 1\ 1 \\ 1\ 0\ 1\ 1 \\ \hline 0\ 0\ 1\ 0 \\ 0\ 1\ 1\ 0 \\ 1\ 0\ 0\ 1 \end{array} \quad (5)$$

В (5) слагаемые группы \overline{S}_4^1 располагаются друг под другом, в каждом столбце по вертикали находятся коэффициенты разрядов одинакового веса. В каждом столбце коэффициенты суммируются независимо от всех других столбцов (суммирование выполняется параллельно и синхронно по всем столбцам):

$$\begin{array}{cccc} 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ \overline{0} & \overline{0} & \overline{1} & \overline{0} \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{array} \quad (6)$$

Сумма элементов каждого столбца (6) записывается (под чертой) в позиционном двоичном коде по возрастанию веса справа налево, со смещением по диагонали сверху вниз. Так, сумма элементов четвертого столбца, состоящего из четырех единиц (веса младшего разряда 2^0), имеет запись $4 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 100$, которая смещена по диагонали справа налево, сверху вниз. Аналогично, сумма элементов третьего столбца, состоящего из нуля и трех единиц (веса 2^1), имеет двоичную запись $3 = 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 011$, которая с сохранением веса каждого разряда аналогично смещена от столбца по диагонали. Сумма элементов второго столбца 010 смещена аналогично предыдущим. Сумма элементов первого столбца 100 смещена аналогично. Смещение каждой позиционной записи суммы элементов столбца выполняется так, что коэффициенты взаимно однозначно располагаются по весу вертикального столбца своего и последующих разрядов. Все смещения геометрически параллельны, и двоичные коды сумм столбцов не налагаются друг на друга. Математически эти коды в совокупности образуют три промежуточных слагаемых в горизонтальной позиционной записи, сумма которых остается невычисленной. Предполагается, что каждый бит промежуточных слагаемых сохраняет одна ячейка памяти (триггер). Образуется три горизонтальных линейки триггеров, соответственных горизонтальным записям трех промежуточных слагаемых ниже черты в (5). Количество S_4^1 горизонтальных линеек (ниже промежуточных рядов, синоним – промежуточных слагаемых) равно максимальному числу разрядов двоичной суммы

вертикального столбца. В данном случае $S_4^1 = 1 + [\log_2 4] = 3$, где $[\alpha]$ – целая часть α . Если бы разбиение в (1)–(4) было выполнено по произвольному количеству N слагаемых, то число промежуточных рядов составило бы $S_N^1 = 1 + [\log_2 N]$. В излагаемом варианте метода S_4^1 промежуточных слагаемых отдельно не суммируются. Они подсоединяются к следующей группе слагаемых входного потока (4). Именно, вторая группа $\bar{S}_4^2 = 0101 + 1011 + 1110 + 0011$ с подсоединением S_4^1 промежуточных слагаемых обрабатывается следующим образом:

$$\begin{array}{r}
 0\ 1\ 0\ 1 \\
 1\ 0\ 1\ 1 \\
 1\ 1\ 1\ 0 \\
 0\ 0\ 1\ 1 \\
 0\ 0\ 1\ 0 \\
 0\ 1\ 1\ 0 \\
 1\ 0\ 0\ 1 \\
 \hline
 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1 \\
 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1 \\
 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0
 \end{array} \quad (7)$$

Слагаемые промежуточных рядов под чертой в (7) формируются совершенно аналогично тому, как описано выше для (5), с той единственной разницей, что выше черты расположено не 4 слагаемых, а 7 – за счет подсоединения к входной группе дополнительных $S_4^1 = 3$ промежуточных слагаемых из (5). И снова количество S_4^2 промежуточных рядов на выходе под чертой оказалось равным 3. Очевидно, это потому, что на входе в (7) было $4 + 1 + [\log_2 4]$ слагаемых, на выходе обработки под чертой появилось $S_4^2 = 1 + [\log_2 (4 + 1 + [\log_2 4])] = 3$ слагаемых (по максимальному числу разрядов двоичной суммы элементов столбца). Если бы разбиение в (1)–(4) было выполнено по произвольно фиксированному количеству N слагаемых, то число промежуточных рядов составило бы $S_N^2 = 1 + [\log_2 (N + 1 + [\log_2 N])]$. Как и на предыдущем этапе S_4^2 промежуточных ряда отдельно не суммируются, они подсоединяются к следующей группе \bar{S}_4^3 слагаемых входного потока (4). Именно, третья группа $\bar{S}_4^3 = 1101 + 0110 + 1111 + 1000$ с подсоединением S_4^2 промежуточных слагаемых из (7) обрабатывается следующим образом:

$$\begin{array}{r}
 1\ 1\ 0\ 1 \\
 0\ 1\ 1\ 0 \\
 1\ 1\ 1\ 1 \\
 1\ 0\ 0\ 0 \\
 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1 \\
 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1 \\
 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0 \\
 \hline
 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1 \\
 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1 \\
 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0
 \end{array} \quad (8)$$

Замечание 1. В дальнейшем нулевые старшие разряды промежуточных слагаемых не записываются, поскольку не влияют на сумму. Технически исключить их запись можно на основе оценки роста числа разрядов промежуточных слагаемых. Такая оценка дана в [1], уточнена в [4] и будет представлена ниже.

Промежуточные ряды под чертой в (8) формируются в полной аналогии тому, как описано для (7). Их количество снова равно 3: в (8) над чертой было $4 + 1 + [\log_2 (4 + 1 + [\log_2 4])]$ слагаемых, под чертой оказалось $S_4^3 = 1 + [\log_2 (4 + 1 + [\log_2 (4 + 1 + [\log_2 4])])] = 3$. В случае разбиения по N , число промежуточных рядов составило бы $S_N^3 = 1 + [\log_2 (N + 1 + [\log_2 (N + 1 + [\log_2 N])])]$.

Как и прежде S_4^3 промежуточных ряда отдельно не суммируются, а подсоединяются к следующей группе \bar{S}_4^4 слагаемых входного потока (4). Заключительная четвертая группа $\bar{S}_4^4 = 0111 + 0001 + 1110 + 1111$ с подсоединением S_4^3 промежуточных рядов из (8) обрабатывается следующим образом:

$$\begin{array}{r}
 0\ 1\ 1\ 1 \\
 0\ 0\ 0\ 1 \\
 1\ 1\ 1\ 0 \\
 1\ 1\ 1\ 1 \\
 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1 \\
 1\ 0\ 1\ 1\ 1 \\
 1\ 0\ 0\ 0 \\
 \hline
 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0 \\
 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0 \\
 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1
 \end{array} \quad (9)$$

Слагаемые промежуточных рядов под чертой в (9) сформированы аналогично тому, как описано для (8). Их количество снова равно 3:

$$S_4^4 = 1 + [\log_2(4+1+[\log_2(4+1+[\log_2(4+1+[\log_2 4])])])].$$

При разбиении по N получилось бы

$$S_N^4 = 1 + [\log_2(N+1+[\log_2(N+1+[\log_2(N+1+[\log_2 N])])])].$$

Повторяя процесс применительно к промежуточным рядам, их можно сжать в два промежуточных ряда, затем окончательно просуммировать.

Рассмотренный процесс сложения можно продолжать неограниченно. Если сколь угодно увеличить число слагаемых в (4), то число промежуточных рядов всегда будет равно трем. В общем случае суммы (1) с произвольным значением P описанному алгоритму соответствует рекуррентная формула количества промежуточных рядов:

$$S_N^0 = 0, S_N^1 = 1 + [\log_2(N + S_N^0)], \quad (10)$$

$$S_N^k = 1 + [\log_2(N + S_N^{k-1})], k = 1, 2, \dots$$

В (10) предполагается разбиение (1) на группы по N, k – номер шага алгоритма.

Содержание каждого шага необходимо пояснить. Именно, операции суммирования во всех столбцах выполняются параллельно и синхронно на соответственных процессорных элементах. Это разрядные процессорные элементы, взаимно независимые по всем разрядам данных, с постоянными линиями связи для каждого столбца, поэтому не требующие обмена.

Запись результатов сложения коэффициентов в столбце выполняется параллельно и синхронно по всем столбцам, не требует вычисления переноса. Обработка каждого столбца состоит в сложении двоичных коэффициентов веса одного фиксированного разряда (сложение бит разрядного среза, суммирование по вертикали). Выполнять такое суммирование можно либо на процессорных элементах, коммутируемых по схеме сдвигания, либо на сопоставленной столбцу логической схеме, либо на параллельном сдвигателе с шифратором [2]. Одна из схем приводится в дальнейшем. Во всех таких схемах длительность t_c сложения элементов столбца измеряется логарифмическим числом переключений логических элементов, $t_c = O(\log_2 N)$ [2], что определяет время выполнения шага алгоритма соответственного (10). Все преобразования слагаемых (1) эквивалентны обычной арифметике, поэтому использование алгоритма в архитектуре вычислительной системы не влечет отказ от последовательного программирования.

Соотношения (10) по номерам шагов разворачиваются в виде

$$S_N^0 = 0, S_N^1 = 1 + [\log_2 N], S_N^2 = 1 + [\log_2(N + 1 + [\log_2 N])],$$

$$S_N^k = 1 + \underbrace{[\log_2(N + 1 + [\log_2(N + \dots + [\log_2(N + 1 + [\log_2 N])])\dots])]}_k, k = 1, 2, \dots \quad (11)$$

Пусть $z = N + 1$. Тогда из (11)

$$S_N^k \leq 1 + \underbrace{[\log_2(z + [\log_2(z + \dots + [\log_2(z + [\log_2 z])])\dots)]]}_k.$$

Поскольку $\log_2(2z) \leq z \forall z \geq 2$, то $[\log_2(z + [\log_2 z])] \leq [\log_2(2z)]$, и

$$S_N^k \leq 1 + \underbrace{[\log_2(z + [\log_2(z + \dots + [\log_2(2z)])\dots)]]}_{k-1}. \quad (12)$$

Если правую часть (12) обозначить Z_N^{k-1} , то с учетом $[\log_2(2z)] \leq z$ получится

$$Z_N^{k-1} \leq Z_N^{k-2}, k = 1, 2, \dots \quad (13)$$

Последовательная подстановка в (12) неравенств (13) по индукции влечет $S_N^k \leq 1 + [\log_2(2z) \dots]$, или,

$$S_N^k \leq 2 + [\log_2(N + 1)], k = 1, 2, \dots \quad (14)$$

С учетом (11), (14) имеет место

Теорема 1. Пусть $S_p(1)$ вычисляется посредством рассматриваемого алгоритма, соответственного (10). Тогда, каковы бы ни были $P \geq 2$ и $N \geq 2$ в разбиении набора слагаемых (1) на группы по N , точное число S_N^k промежуточных рядов на шаге $k \geq 1$ определяется из (11). Значение S_N^k ограничено из (14) константой, которая зависит только от N , в частности, не зависит от номера шага k и от числа разрядов слагаемых $n+1$.

Теорема уточняет аналогичное утверждение из [1] и означает, что число шагов алгоритма формально может быть неограниченным.

Следствие 1. В условиях теоремы 1 количество \bar{S}_N^{k+1} входных слагаемых на шаге равно

$$\bar{S}_N^{k+1} = N + S_N^k \quad \forall k \geq 1, \quad (15)$$

где S_N^k определяется из (11) и ограничено согласно (14).

О границах роста старших разрядов промежуточных слагаемых. На первом шаге рассматриваемого алгоритма вычисления (1) прирост s_N^1 ненулевых старших разрядов промежуточных рядов по отношению к числу разрядов (2) не превышает числа промежуточных рядов, точнее, ограничен из неравенства $s_N^1 \leq [\log_2 N]$. Речь идет именно о приросте числа старших разрядов. На нем не сказывается наличие «нулевого» разряда вертикального среза, поэтому, в отличие от (11), добавлять единицу в правую часть последней оценки не нужно. На втором шаге прирост будет определяться вертикальным суммированием именно уже приросших разрядов промежуточных рядов, что оценивается как $s_N^2 \leq [\log_2 [\log_2 N]]$ и т.д. На некотором шаге останется не больше двух ненулевых старших разрядов, подлежащих вертикальному суммированию, и после очередного шага суммирования прирост составит не более чем один разряд. На последующих шагах единичный прирост не увеличится, причем будет происходить не на каждом шаге. Этой оценкой можно было бы ограничиться, однако она представляет собой формальное препятствие для роста длины разрядной сетки. Трудность можно обойти с учетом особенностей вертикального суммирования потока слагаемых. Пусть, для удобства изложения, $N \gg S_N^k$. На первом шаге алгоритма обработки потока все старшие разряды промежуточных рядов

из числа S_N^1 , имеющие вес больше чем 2^n , предлагается отсоединить в отдельный набор слагаемых, и на втором шаге они не обрабатываются. На втором шаге все старшие разряды промежуточных рядов из числа S_N^2 , имеющие вес больше, чем 2^n , также отсоединяются в отдельный набор, который располагается над аналогичным набором предыдущего шага. При этом по вертикали располагаются коэффициенты равного между собой веса отсоединенных слагаемых текущего и предыдущего наборов. Такое накопление отсоединенных слагаемых выполняется на каждом шаге $k \geq 1$, пока их количество не приблизится (не превышая) к правой части оценки (15). По окончании накопления весь набор отсоединенных слагаемых поразрядно-параллельно обрабатывается за один шаг точно так, как описано выше для набора из \bar{S}_N^{k+1} входных слагаемых. Для определенности считается, что такой шаг выполнен на параллельно работающих разрядных процессорных элементах без прерывания основной обработки потока слагаемых (возможен вариант с прерыванием основной обработки). В результате образуются промежуточные ряды с весом разрядов, превосходящим 2^n , количество таких рядов не больше S_N^k из (14). К таким промежуточным рядам снова добавляются отсоединенные слагаемые от каждого шага обработки основного набора. Процесс продолжается до образования нового входного набора, количество слагаемых которого приблизится (не превышая) к правой части оценки (15). Затем снова выполняется шаг сжатия полученного набора до промежуточных рядов и т.д. В продолжение шагов обработки веса разрядов просуммированных отсоединенных слагаемых будут возрастать, и старший разряд достигнет веса $2^{(n+1)+n} = 2^{2n+1}$. В случае превышения этого веса разряды всех промежуточных рядов, образованных отсоединенными слагаемыми, снова отсоединяются, теперь уже в новый отдельный набор. В новом наборе они накапливаются и обрабатываются, как в предыдущем наборе отсоединенных промежуточных рядов. При этом обработка предыдущего отсоединенного набора и основного набора продолжается без изменения и без прерывания. По достижении в новом наборе веса разрядов $2^{2n+1+n} = 2^{3n+1}$ разряды большего веса снова, аналогично предыдущему, отсоединяются в отдельный набор, который обрабатывается в полной аналогии предыдущему. Рассматриваемый процесс иллюстрирует диаграмма (рис. 1).

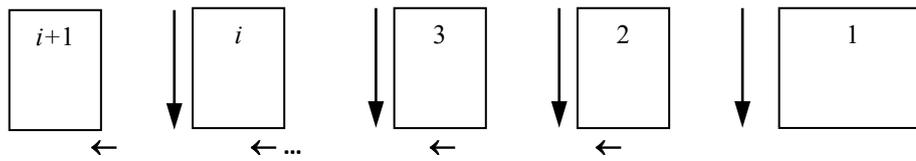


Рис. 1. Схема раздельного запоминания и вертикальной обработки старших разрядов промежуточных слагаемых

На рис. 1 каждый этап группового поразрядно-параллельного сложения соответствует шагу алгоритма вертикальной обработки набора слагаемых в количестве (15). В блоке памяти 1 запоминаются разряды промежуточных слагаемых от 0-го до n -го, в блоке 2 – от $n+1$ до $2n+1$, в блоке i – от $(i-1)n+1$ до $in+1$. Процесс прироста старших ненулевых разрядов будет замедляться (аналогично приросту разрядов счетчика) пропорционально замедлению перехода от этапа i к этапу $i+1$.

Замечание 2. Если промежуточные ряды сжимать до двухрядного кода, то замедление прироста таково, что время непрерывной потоковой обработки может измеряться месяцами и годами (в зависимости от подбора параметров) при организации всего семи блоков, изображенных на рис. 1 [4, 5]. Время обработки допускает элементарную оценку, на основе которой ограничивается диапазон числовых данных.

Вертикальное потоковое сложение с учетом знаков слагаемых. Предлагается по отдельности суммировать положительные и отрицательные числа входного потока. Когда потребуются знак алгебраической суммы, следует сжать положительные и отрицательные промежуточные ряды до двух, выполнить окончательное сложение в однорядном коде и сложить двоичные коды результатов с учетом знака. Способ должен иметь аналог дополнительного кода (непосредственно дополнительный код использует данные с плавающей точкой). Аналог строится на основе тождества

$$a - b = a + ((2^{n+1} - 1) - b) - (2^{n+1} - 1) \quad (16)$$

с учетом суммы геометрической прогрессии

$$2^{n+1} - 1 = 2^n + 2^{n-1} + 2^{n-2} + \dots + 2^1 + 2^0, \quad (17)$$

что в позиционной записи означает

$$2^{n+1} - 1 = \underbrace{1 \ 1 \ 1 \ \dots \ 1 \ 1}_{n+1}. \quad (18)$$

Из (17), (18) следует, что разность $(2^{n+1} - 1) - b$ состоит из битовых значений разрядов числа b , преобразованных так, что каждый нулевой бит заменяется битом

равным единице, а каждый единичный бит заменяется битом равным нулю (разряды b инвертируются). Результат преобразования определяет обратный код числа b , который ниже обозначается \bar{b} . Таким образом, $\bar{b} = (2^{n+1} - 1) - b$. Операция $a - b$ выполняется как операция сложения $a + \bar{b}$. Чтобы результат перевести в исходный (прямой) код, выполняется коррекция согласно (16):

$$a - b = a + \bar{b} - 2^{n+1} + 2^0. \quad (19)$$

Правая часть операции (19) означает, что от разряда веса 2^{n+1} суммы $a + \bar{b}$ нужно отнять 1, а к разряду веса 2^0 нужно прибавить 1 (аналог дополнительного кода). Если отрицательные слагаемые появляются только среди чисел вида (1), (2), то описание алгебраического сложения можно считать завершенным. Если же их значение используется в дальнейшей обработке, то коррекция (19) должна относиться не только к разряду фиксированного веса 2^{n+1} : вес старшего разряда может измениться – возрасти или уменьшиться относительно (1), (2), быть переменным для различных шагов обработки. Пусть требуется выполнить алгебраическое сложение положительного и отрицательного числа с весом корректируемого старшего разряда отличным от 2^{n+1} . Очевидно, в преобразованиях (16)–(19) старший разряд может быть как единичным, так и нулевым, схема всегда сохранит правильный результат на выходе операции (19). Поэтому a, b в (16) можно считать имеющими равное число разрядов и одинаковый вес старшего из них. Пусть в данном случае этот вес будет равен $2^{\bar{n}}$. Тогда алгебраическое сложение повторяет схему (16)–(19) с точностью до замены значения n на значение \bar{n} . Проблема заключается в том, что автоматическое кодирование знака суммы выполняется только для операций с плавающей точкой. В случае фиксированной точки требуется априори определить наибольшее по абсолютной величине слагаемое и приписать знак наибольшего по модулю слагаемого результату операции (19). С минимальной временной сложностью это можно сделать следующим образом. Сначала

ла выполняется первая часть операции $a - b$ в виде $a + \bar{b}$, где \bar{b} – обратный код числа b : $\bar{b} = (2^{\bar{n}+1} - 1) - b$. При этом сложение выполняется поразрядно-параллельно в четыре этапа, содержание которых поясняется на примере. Пусть

$$a = 1010111000 \ 1, \ b = 1011011100 \ 1. \quad (20)$$

$$\text{Тогда } \bar{b} = 0100100011 \ 0.$$

Этап 1. Выполняется поразрядно-параллельное сложение по вертикали для случая двух слагаемых ($N = 2$), как описано выше для (1)–(5):

$$a + \bar{b} = \begin{array}{r} 10101110001 \\ 01001000110 \\ \hline 11100110111 \\ 00001000000 \end{array} \quad (21)$$

Под чертой в (21) – два промежуточных ряда для случая двух входных слагаемых (20).

Этап 2. Два слагаемых промежуточных рядов преобразуются без изменения суммы:

$$\begin{array}{r} 11100110111 \\ 00001000000 \\ \hline -1 -1 -1 \ 0 \ 0 \ -1 \ -1 \ 0 \ -1 \ -1 \ -1 \\ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \end{array} \quad (22)$$

В (22) единицы нижнего ряда левой части равенства не преобразуются, а каждая единица верхнего ряда преобразуется как $1 = 2 - 1$. При этом -1 остается в верхнем ряду вместо 1 того же разряда, а 2 записывается как 1 разряда веса на один большего, чем преобразуемая 1 верхнего ряда, с соответственным смещением справа налево, сверху вниз – в нижний ряд. Это всегда возможно: после этапа 1 в смещенном по диагонали от единицы разряде нижнего ряда априори содержится значение 0. Если бы в смещенном от 1 верхнего ряда по диагонали разряде нижнего ряда оказалось число 1, это означало бы, что сумма бит по вертикали равна $11 = 3$, тогда как складывались только два двоичных коэффициента равного веса.

Этап 3. По всем разрядам правой части (22) снова выполняется сложение по вертикали. Получится

$$a + \bar{b} = \begin{array}{r} -1 -1 -1 \ 0 \ 0 \ -1 \ -1 \ 0 \ -1 \ -1 \ -1 \\ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \\ \hline = 1 \ 0 \ 0 \ -1 \ 1 \ 1 \ 0 \ -1 \ 1 \ 0 \ 0 \ -1. \end{array} \quad (23)$$

Этап 4. Наличие -1 в девятом справа налево (при отсчете от единицы) разряде в правой части цепочки равенств (23) обусловлено тем, что в нижнем промежуточном ряду коэффициент этого веса равнялся нулю (вообще появление -1 на выходе (23) возможно тогда и только тогда, когда на входе по вертикали под -1 расположен 0). Рассматриваемое значение -1 имеет наибольший вес среди других значений -1 , потому что все коэффициенты большего веса нижнего ряда на входе (23) были единицами (это общий признак значения -1 наибольшего веса). Наличие таких единиц нижнего ряда единственным образом соответствует наличию нулей на их местах в левой части (22). В свою очередь, такие нули старших разрядов нижнего ряда появились в результате формирования промежуточных рядов на этапе 1, когда сложение выполнялось только по вертикали, двоичная сумма вертикального среза записывалась справа налево по диагонали от разряда верхнего к разряду нижнего ряда. Сумма значений данных разрядов была единичной по той и только той причине, что складываемые биты $a + \bar{b}$ всегда были один нулем, а другой единицей. С учетом того, что \bar{b} представлено в обратном коде, это означает, что рассматриваемые старшие разряды (слева от -1 наибольшего веса) a и b содержали равные друг другу значения. Нетрудно видеть, что данные рассуждения воспроизводятся в общем случае и имеет место

Лемма 1. Если значения $i - 1$ всех старших разрядов a и b совпадают, а в i -м слева направо разряде различаются, то после выполнения этапов 1–3 в i -м разряде однорядной суммы $a + \bar{b}$ с необходимостью окажется значение -1 .

Следствие 2. Если в условиях леммы 1 ни одно значение разряда однорядной суммы $a + \bar{b}$ не равно -1 , то $a = b$.

На рассматриваемом (4-м) этапе необходимо выделить значение -1 наибольшего веса среди других значений -1 однорядной суммы $a + \bar{b}$. Это можно сделать схематически: из каждого разряда в случае его значения равного -1 подается сигнал запрета выходного значения одновременно на все младшие разряды. Для этого необходимы фиксированные линии связи для приема рассматриваемых сигналов в каждом разряде. Задержка распространения сигнала запрета формально может оцениваться как единичная.

Пусть выделено значение -1 в разряде наибольшего веса с номером i (в нумерации от 0 слева направо). Вес разряда равен $2^{\bar{n}+1-i}$ (при нумерации справа налево номер раз-

ряда $\bar{n} + 1 - i$). Остается сравнить значения разрядов с тем же номером i уменьшаемого a и вычитаемого b . Большее значение определяет знак разности $a - b$. Здесь учитывается, что $2^{\bar{n}+1-i} > \sum_{\ell=0}^{\bar{n}-i} 2^\ell \geq \sum_{\ell=0}^{\bar{n}-i} a_\ell 2^\ell$ при лю-

бых значениях бит $a_\ell, \ell = 0, 1, \dots, \bar{n} - i$.

С учетом поразрядной параллельности рассмотренных операций имеет место

Лемма 2. *Задержка идентификации знака разности $a - b$ в результате выполнения этапов 1–4 формально не зависит от числа разрядов a и b , при этом измеряется длительностью $t = O(1)$.*

В [6, 7] обсуждаются алгоритмические схемы выделения старшего ненулевого разряда двух сравниваемых чисел с задержкой $t = O(\log_2 \bar{n})$.

О распространении поразрядно-параллельной потоковой обработки на разнородности групповых арифметических операций. Изложенный метод распространяется на умножение, при этом в роли группы слагаемых на входе выступает школьная схема умножения, результат вертикальной обработки – набор промежуточных рядов [1]. Умножение на текущий сомножитель выполняется по дистрибутивности на такой набор промежуточных слагаемых. Количество промежуточных рядов, как и в случае потока слагаемых, ограничено при неограниченном потоке сомножителей. Для вычисления произведения последовательности сомножителей $P_M = a_1 \times a_2 \times \dots \times a_M$ в [1] приводится оценка числа промежуточных рядов

$$\max_{k \geq 1} S_M^{(k)} \leq \log_2 n + \log_2 \log_2 (2(n+1)) + 2, \quad (24)$$

где количество разрядов сомножителей равно $n + 1, M$ произвольно. Проблема возникает, если меняется алгоритм умножения, например если вычисляется $P_k = a^{2^k}, k = 1, 2, \dots$. В этом случае для ограничения числа про-

межуточных рядов приходится ограничить число разрядов таких рядов на выходе каждого шага умножения [1]. Для простой последовательности умножений с оценкой (24) схема умножения с промежуточными рядами громоздка, однако их количество можно уменьшить до двух. С аналогичными издержками метод переносится на алгоритмы умножения со сложением, например на схему Горнера вычисления полинома, на умножение матриц, на выполнение итерационных методов линейной алгебры [8] и т.д. Для практической реализации приемлема модификация метода, описываемая ниже (в дальнейшем она иллюстрируется также применительно к умножению).

Сжатие промежуточных рядов до двух слагаемых при потоковой обработке.

Пусть рассматривается обработка потока (1) в условиях теоремы 1. Выполняется следующая модификация метода. Сумма (1) вычисляется посредством основного алгоритма теоремы 1, соответственного (10), но при этом S_N^k промежуточных рядов на шаге k не сразу подсоединяются к входному набору из N новых слагаемых для шага $k + 1$, а только после того, как над этими промежуточными рядами выполнится операция однократного сжатия. Однократное сжатие выполняется так, как если бы эти промежуточные ряды представляли собой входной набор слагаемых, без изменения способа, описанного в теореме 1. Иными словами, над этим набором промежуточных рядов выполняется операция поразрядно-параллельного сложения без вычисления переноса. Результатом однократного сжатия будет новый (сжатый) набор промежуточных рядов. Именно этот сжатый набор рядов подсоединяется к входному набору из N новых слагаемых для шага $k + 1$ основного алгоритма. На шаге 1 модифицированного таким образом основного алгоритма после однократного сжатия набор будет состоять из $\tilde{S}_N^1 = 1 + [\log_2 (1 + [\log_2 N])]$ промежуточных рядов.

На шаге 2 основного алгоритма после однократного сжатия

$$\tilde{S}_N^2 = 1 + [\log_2 (1 + [\log_2 (N + 1 + [\log_2 (1 + [\log_2 N])])])].$$

На шаге k после однократного сжатия получится (25)

$$\tilde{S}_N^k = 1 + \underbrace{[\log_2 (1 + [\log_2 (N + 1 + [\log_2 (1 + [\log_2 (N + 1 + [\log_2 (1 + [\log_2 (1 + [\log_2 (1 + [\log_2 N])])])])])])])]}_k \dots$$

Из (25)

$$\tilde{S}_N^k \leq 1 + \underbrace{\log_2 (1 + \log_2 (N + 1 + \log_2 (1 + \log_2 (N + 1 + \dots + 1 + \log_2 (1 + \log_2 (N + 1 + \log_2 (1 + \log_2 (N + 1)))))) \dots)}_k. \quad (26)$$

С учетом того, что при использовании однократного сжатия число промежуточных рядов не больше чем в исходном методе, можно оценить это число на всех предшествующих шагах сверху из (14). На двух последних шагах используются начальные члены (26). В результате

$$\max_{k \geq 1} \tilde{S}_N^k \leq 1 + \log_2(1 + \log_2(N + 1 + \log_2(1 + \log_2(N + 2 + \log_2(N + 1))))))$$

или

$$\max_{k \geq 1} \tilde{S}_N^k \leq \log_2(2 \log_2(2(N + \log_2(2 + \log_2(2(N + 2 + \log_2(N + 1))))))) \sim \log_2 \log_2 N \quad (27)$$

Точное число промежуточных рядов для любого N можно рассчитать из (25). Аналогично, можно рассматривать двукратное сжатие на каждом шаге основного алгоритма и при этом для оценки числа промежуточных рядов использовать (27). Нетрудно видеть, что это число оценивается как $\sim \log_2 \log_2 \log_2 N$. Общий вариант основного алгоритма с m -кратным сжатием промежуточных рядов при достаточном значении m приводит всего к двум промежуточным рядам на выходе каждого шага, что является практически приемлемым вариантом организации поразрядно-параллельной обработки без вычисления переноса. Издержка такой модификации состоит в m -кратном замедлении обработки по сравнению с исходным вариантом алгоритма. Легко оценить число шагов m сжатия для любого конкретного N . Например, если $N = 1024$, то после первичной обработки входного набора число промежуточных рядов равно $\tilde{S}_N^1 = 1 + \log_2 1024 = 11$. При первом сжатии промежуточных рядов их количество сократится до $\tilde{S}_N^2 = 1 + [\log_2 11] = 4$. Еще одно сжатие влечет $\tilde{S}_N^3 = 1 + \log_2 4 = 3$. Третье сжатие приводит к двум промежуточным рядам: $\tilde{S}_N^4 = 1 + [\log_2 3] = 2$. Число шагов m -кратного сжатия в данном случае $m = 3$. Сокращение количества промежуточных рядов с 11 до 2 за три шага, менее трудоемких чем первичная обработка входного набора из $N = 1024$ слагаемых, практически целесообразно. Если такое сжатие выполнять при обработке каждого входного набора, то вся обработка без прерывания потока данных будет производиться в двухрядном коде. С такой модификацией метод переносится на умножение и другие арифметические операции, позволяя выполнять их в потоке, поразрядно-параллельно и без вычисления переноса. Вместе с тем возможно поразрядно-параллельное сжатие двухрядного кода в однорядный.

Поразрядно-параллельное сложение двоичных полиномов без вычисления переноса. Пусть нужно сложить два двоичных числа вида (2), (3). Предлагаемый

способ поясняется на примере нахождения суммы

$$s = 111100101101 + 100111111110 \quad (28)$$

Первое из слагаемых (28) располагается в первой сверху строке, второе – во второй, над чертой, разряд под разрядом равного веса:

	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1
	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1
1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	

Шаг 1. Под чертой поразрядно-параллельно формируются суммы коэффициентов, расположенных по вертикали над чертой, в каждой паре разрядов равного веса. Сумма каждых двух таких бит записывается в позиционном двоичном коде со смещением по диагонали справа налево, сверху вниз согласно весу коэффициента. Этот шаг – частный случай обработки потока (1) при $N = 2$. Такая операция описана в (5), (6) для случая $N = 4$. Эта же операция применялась в (21) на этапе 1 для случая $N = 2$ с целью формирования знака разности. В результате выполнения шага 1 все потенциальные переносы в двух полученных промежуточных рядах с необходимостью образуют цепочки специального вида. Именно, в верхнем промежуточном ряду в цепочке переноса располагаются единицы без пропуска, в нижнем ряду, под единицей младшего в цепочке веса, также располагается единица (единица переноса), под остальными единицами верхнего ряда цепочки в нижнем ряду единице переноса необходимо предшествуют нули:

$$\begin{aligned} & \dots 11 \dots 111 \dots \\ & \dots 00 \dots 001 \dots \end{aligned} \quad (29)$$

При этом ближайшие друг к другу цепочки переноса вида (29) всегда взаимно отделены вертикальной парой промежуточных нулей:

$$\begin{aligned} & \dots 11 \dots 111 \ 0 \ 11 \dots 111 \dots \\ & \dots 00 \dots 001 \ 0 \ 00 \dots 001 \dots \end{aligned} \quad (30)$$

Лемма 3. *Каковы бы ни были два складываемых двоичных полинома, на выходе шага 1 любая цепочка переноса в промежуточных рядах имеет вид (29), где в цепочке верхнего ряда не меньше одной единицы. При этом любые две соседние цепочки переносов, аналогично (30), необходимо отделены друг от друга хотя бы одной вертикальной парой нулей (парой нулевых двоичных коэффициентов равного веса).*

Доказательство. Если вместо хотя бы одного нуля в (29) оказалась единица, это означало бы запись по диагонали справа налево, сверху вниз двоичного числа $11 = 3$, являющегося суммой двух бит равного веса, что невозможно: по вертикали складывались два двоичных коэффициента одинакового веса, их сумма либо $01 = 1$, либо $10 = 2$. Далее, если бы между двумя ближайшими друг к другу цепочками переносов вида (30) на месте любого нуля вертикальной пары нулевых коэффициентов равного веса оказалась единица, это, как и в только что рассмотренном случае, влекло бы запись по диагонали справа налево, сверху вниз суммы двух бит (двоичных коэффициентов равного веса) $11 = 3$, что невозможно. Лемма доказана.

Из леммы 3 следует, что после шага 1 никакие переносы и цепочки переносов не могут накладываться друг на друга, поэтому их все можно выполнить взаимно независимо и параллельно.

Шаг 2. Каждая двухрядная цепочка вида (29) преобразуется в однорядную цепочку, представляющую собой результат выполнения переноса

$$\begin{array}{l} 011\dots 11 \\ \underbrace{000\dots 01} \end{array} \Rightarrow \underbrace{10\dots 00}. \quad (31)$$

В левой части (31) слева от цепочки единиц необходимая вертикальная пара нулей $\begin{smallmatrix} 0 \\ 0 \end{smallmatrix}$, отделяющая цепочку переноса от соседней слева цепочки переноса или от ближайшей слева 1, не принадлежащей какой-либо цепочке переноса. Преобразование (31) выполняется с помощью схемы из логических и разрядных элементов (рис. 2). Здесь и ниже под разрядным элементом понимается простейший процессорный или, возможно, логический элемент, реализующий рассматриваемые преобразования вертикальной пары бит равного веса в фиксированном разряде двухрядного кода, полученного на выходе шага 1. В предлагаемой схеме разрядный элемент младшего разряда

двухрядного кода левой части (31) при наличии вертикальной пары $\begin{smallmatrix} 1 \\ 1 \end{smallmatrix}$, и только в этом

случае инициирует работу разрешающей параллельной схемы элементов & путем параллельной подачи значения 1 на вход каждого элемента &. Каждый из элементов & разрешающей схемы помимо прямого входа имеет инверсный вход. На инверсный вход элемента & по фиксированной прямой линии связи с разрядным элементом, после сигнала разрешения на преобразование разряда, этот разрядный элемент будет посылать значение разряда из верхнего ряда соответственной ему вертикальной пары коэффициентов равного веса. Прямая линия связи между разрядным элементом и элементом & разрешающей схемы является единственной для каждого разряда двухрядного кода и для каждого элемента & разрешающей схемы. Иными словами, все разрядные элементы и элементы разрешающей параллельной схемы находятся во взаимно однозначном соответствии, реализуемом (рис. 2) фиксированными прямыми линиями связи. В силу соответствия количество элементов & разрешающей схемы равно числу старших разрядов двухрядного кода в отсчете от пары $\begin{smallmatrix} 1 \\ 1 \end{smallmatrix}$ (на рис. 2 не отражены элементы разрешающих схем старших и младших относительно пары $\begin{smallmatrix} 1 \\ 1 \end{smallmatrix}$ разрядов).

С выхода каждого элемента & идет фиксированная обратная линия связи в тот же соответственный разрядный элемент, из которого выходит прямая линия связи. Геометрически прямая и обратная линия связи параллельны друг другу. Каждый элемент & разрешающей схемы имеет взаимно однозначно сопоставленный ему (рядом расположенный) дополнительный элемент с собственными входами и выходами. Этот дополнительный к & элемент также имеет фиксированные прямую и обратную линии связи с тем же разрядным элементом, с которым имеет взаимно однозначное соответствие и линии связи элемент &, геометрически те и другие линии связи параллельны друг другу. Дополнительные элементы и их линии связи не отображены на рис. 2. Дополнительные элементы разрешающей схемы подают сигнал разрешения обработки на сопоставленные разрядные элементы после того, как на их входы поступят значения вертикальной пары разрядов из этих разрядных элементов и они работают эти значения.

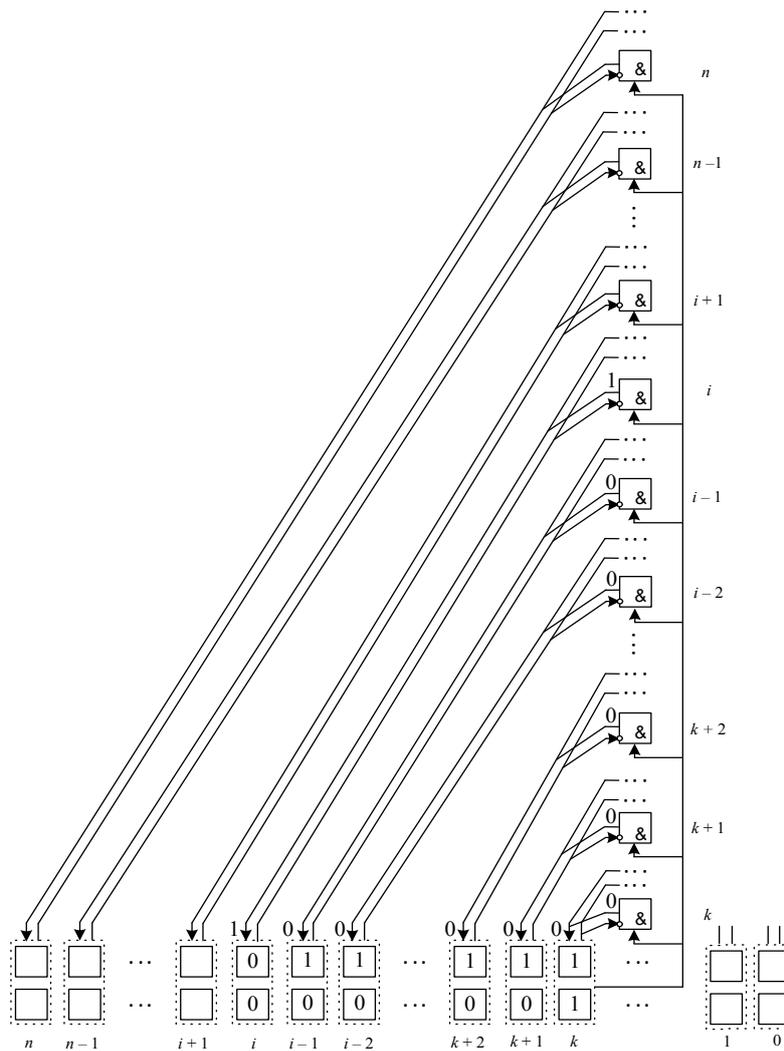


Рис. 2. Поразрядно-параллельное преобразование цепочки переноса

Если на вход дополнительного элемента поступает сигнал из разрядного элемента с парой $\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$ (и только в этом случае), то он интер-

претируется как отмена сигнала разрешения на обработку разрядных значений для всех тех разрядных элементов, которые сопоставлены элементам разрешающей параллельной схемы, расположенным выше элемента &, соответствующего данному дополнительному элементу (получившему сигнал $\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$).

Отмена сигнала разрешения параллельно подается на все дополнительные элементы, элементы & которых расположены выше элемента &, получившего сигнал $\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$, что ис-

ключает поступление от них на входы всех сопоставленных им разрядных элементов сигнала разрешения обработки разрядных значений (находящихся за пределами данной цепочки переноса). Термины «разрешение» и «отмена разрешения» сохраняются ниже. При этом они понимаются именно как сигналы разрешения и соответственно его отсутствия для разрядных элементов на преобразование значений разрядов. Выдающие (через дополнительные элементы) разрешение на обработку элементы & будут именоваться разрешающими. Несмотря на то, что отмена сигнала разрешения может поступать из различных разрядов, предшествующих слева преобразуемой цепочке переноса, единственным разрешающим элементом &, на дополнительный элемент к которому поступил сигнал от пары $\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$, ока-

жется нижний среди всех таких элементов, а именно тот, который соответствует паре $\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$, ограничивающей слева преобразуемую цепочку из (31). Отличные от $\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$ комбинации бит, поступающие на входы дополнительных элементов, не интерпретируются как отмена сигнала разрешения. Поэтому разрешающими останутся все элементы & параллельной схемы, расположенные ниже

соответственного паре $\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$ элемента &, а также собственно элемент &, соответственный этой паре. Иными словами, разрешающими останутся те и только те элементы & параллельной схемы, которые находятся во взаимно однозначном соответствии с разрядными элементами преобразуемой цепочки переноса (и только в случае его наличия, то есть в случае инициации разрешающей параллельной схемы).

Поскольку все цепочки переноса взаимно отделены, то в силу взаимно однозначного соответствия разрядных и разрешающих элементов геометрически (пространственно) взаимно отделенными оказываются все разрешающие элементы & иницированных параллельных схем вместе с соответственными им разрядными элементами. Все такие схемы могут работать взаимно независимо, параллельно и синхронно реализовывать переносы в своих цепочках.

Линия связи, которая идет от разрядного элемента пары $\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$, продолжается на все элементы & (аналогично, на дополнительные к ним элементы) разрешающих параллельных схем, сопоставленных всем младшим разрядам рассматриваемого двухрядного кода. При этом разрешающим на ней может быть один и только один элемент &, именно тот, который находится на ее пересечении с иницированной парой $\begin{matrix} 1 \\ 1 \end{matrix}$ разрешающей параллельной схемой элементов &. В самом деле, переносы из младших

относительно пары $\begin{matrix} 1 \\ 1 \end{matrix}$ разрядов отделены от этой пары справа вертикальной парой $\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$. Все линии связи цепочек этих переносов расположены ниже линий связи элементов рассматриваемой разрешающей параллельной схемы. Они не достигают разрядов преобразуемой цепочки переноса, в частности не достигнут рассматриваемой пары $\begin{matrix} 1 \\ 1 \end{matrix}$. С другой стороны, все элементы разрешающих параллельных схем &, расположенные выше преобразований переноса младших относительно пары $\begin{matrix} 1 \\ 1 \end{matrix}$ разрядов, но не выше рассматриваемой линии связи, которая идет от разрядного элемента пары $\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$ (ограничивающей слева цепочку переноса), иницированы как разрешающие разрядные преобразования. Они также являются единственными разрешающими элементами & на своих линиях связи. Иначе бы другие элементы на их линиях связи разрешали бы перенос в рассматриваемую цепочку. Это невозможно вследствие взаимной отделенности переносов и взаимно однозначного соответствия реализующих их разрядных элементов линиям связи и иницированным элементам разрешающих параллельных схем. Разрядные элементы старших относительно пары $\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$ (ограничивающей слева рассматриваемую цепочку переноса) разрядов свои переносы (при их наличии) реализуют инициацией расположенных слева от данной пары $\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$ разрешающих параллельных схем, никак не связанных с рассматриваемой линией связи. В результате рассматриваемая линия связи, по которой поступает сигнал от пары $\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$, со-

держит единственный разрешающий элемент параллельной схемы &, причем только при наличии переноса. Кроме того, каждая линия связи, которой принадлежит элемент & разрешающей параллельной схемы, может содержать только один разрешающий элемент & (также только при наличии переноса). Это именно тот элемент, который находится на ее пересечении с иницированной разрешающей параллельной схемой.

В результате разрешающими являются те и только те элементы & иницированной параллельной схемы, которые находятся во взаимно однозначном соответствии с разрядными элементами преобразуемой цепочки переноса. При этом все иницированные параллельные схемы с разрешающими элементами & и соответствующими им линиями связи не пересекаются друг с другом в том смысле, что по каждой линии связи в разрядный элемент может идти

сигнал от пары $\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$, реализующий инициацию расположенных слева от данной пары $\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$ разрешающих параллельных схем, никак не связанных с рассматриваемой линией связи. В результате рассматриваемая линия связи, по которой поступает сигнал от пары $\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$, со-

держит единственный разрешающий элемент параллельной схемы &, причем только при наличии переноса. Кроме того, каждая линия связи, которой принадлежит элемент & разрешающей параллельной схемы, может содержать только один разрешающий элемент & (также только при наличии переноса). Это именно тот элемент, который находится на ее пересечении с иницированной разрешающей параллельной схемой.

В результате разрешающими являются те и только те элементы & иницированной параллельной схемы, которые находятся во взаимно однозначном соответствии с разрядными элементами преобразуемой цепочки переноса. При этом все иницированные параллельные схемы с разрешающими элементами & и соответствующими им линиями связи не пересекаются друг с другом в том смысле, что по каждой линии связи в разрядный элемент может идти

сигнал от пары $\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$, реализующий инициацию расположенных слева от данной пары $\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$ разрешающих параллельных схем, никак не связанных с рассматриваемой линией связи. В результате рассматриваемая линия связи, по которой поступает сигнал от пары $\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$, со-

держит единственный разрешающий элемент параллельной схемы &, причем только при наличии переноса. Кроме того, каждая линия связи, которой принадлежит элемент & разрешающей параллельной схемы, может содержать только один разрешающий элемент & (также только при наличии переноса). Это именно тот элемент, который находится на ее пересечении с иницированной разрешающей параллельной схемой.

В результате разрешающими являются те и только те элементы & иницированной параллельной схемы, которые находятся во взаимно однозначном соответствии с разрядными элементами преобразуемой цепочки переноса. При этом все иницированные параллельные схемы с разрешающими элементами & и соответствующими им линиями связи не пересекаются друг с другом в том смысле, что по каждой линии связи в разрядный элемент может идти

только один разрешающий сигнал, и только если разрядный элемент принадлежит цепочке переноса.

Замечание 3. На одной линии связи инициированным может оказаться только один сигнал разрешения, но контактные элементы на этой линии соответствуют и всем значениям отмены разрешения. Инициированный сигнал поступит в сопоставленный разрядный элемент как значение многовходовой логической схемы V из контактных элементов.

При помощи описанных схем операции шага 2 выполняются следующим образом. На соответственные разрядные элементы от разрешающих элементов $\&$ (через дополнительные к ним элементы) параллельно поступают сигналы разрешения преобразования. После разрешения разрядные элементы параллельно подают из своих вертикальных пар значения разрядов верхнего ряда на инверсные входы элементов $\&$. Если на инверсные входы элементов $\&$ из разрядов верхнего ряда поступают значения 1, то по обратным линиям связи в эти же разряды поступят значения 0 (рис. 2). Разрядные элементы запишут поступившие новые значения на место исходных. Тогда во всех данных разрядах оказывается значение 0. На инверсный вход верхнего разрешающего элемента $\&$ поступает значение 0 старшего разряда верхнего ряда преобразования (31) (от вертикальной пары $\begin{smallmatrix} 0 \\ 0 \end{smallmatrix}$).

Поэтому по обратной линии связи в этот разряд поступит значение 1. Соответственный разрядный элемент запишет это значение на место исходного. В итоге полностью реализуется преобразование (31). Результат преобразования располагается в верхнем ряду двухрядного кода. Все аналогичные преобразования цепочек переноса не зависят друг от друга и будут выполнены одновременно (параллельно) с рассмотренным преобразованием. Те значения разрядов, которые не входили в цепочки переносов, останутся неизменными, поскольку на входы их разрядных элементов не поступал сигнал разрешения преобразования. На выходе шага 2 будет полностью реализовано сложение в прямом коде пары двоичных полиномов вида (2). Из изложенного вытекает

Лемма 4. *Результат выполнения шагов 1, 2 всегда располагается в один ряд (верхний ряд двух промежуточных рядов), то есть имеет вид однорядного прямого кода суммы двух двоичных полиномов вида (2), (3).*

Описанная схема допускает видоизменение, при котором для разрядных элементов упрощается разрешение на обработку,

но в этом случае они самостоятельно выполняют два дополнительных шага. Пусть каждый элемент $\&$ разрешающей параллельной схемы обладает не инверсным, а прямым входом. По-прежнему каждому из этих элементов сопоставляется один дополнительный элемент с ранее описанными линиями связи. Пусть парой $\begin{smallmatrix} 1 \\ 1 \end{smallmatrix}$ иницирована разрешающая параллельная схема элементов $\&$. Из разрядного элемента, соответственного вертикальной паре $\begin{smallmatrix} 0 \\ 0 \end{smallmatrix}$, ограничивающей слева данную цепочку переноса, по прямой линии связи на вход дополнительного к соответственному элементу $\&$ подается нулевое значение. Дополнительный элемент параллельно распространяет нулевое значение как сигнал отмены разрешения на все расположенные выше элементы $\&$, а также на соответственный ему самому элемент $\&$. Одновременно, по прямым линиям связи на входы элементов $\&$ инициированной разрешающей схемы подаются единичные значения разрядов верхнего ряда, полученного на выходе шага 1. По обратным линиям связи в разрядные элементы, соответственные преобразуемой цепочке переноса, поступят единичные значения. Эти значения разрядные элементы интерпретируют как сигналы разрешения на два дополнительных шага обработки. В результате разрешающие сигналы получают разрядные элементы только с единичными разрядами верхнего ряда преобразуемой цепочки переноса (и только в случае его наличия). Аналогичные схемы любых других разрядов взаимно отделены по описанным прежде соображениям. Два дополнительных шага состоят в следующем. Разрядный элемент, основываясь на тождестве $1 = 2 - 1$, меняет знак 1 разряда верхнего ряда (31) на противоположный: -1 . Одновременно он записывает (по диагонали) в разряд на единицу большего веса в нижний ряд значение 1. При этом исходные значения 1 разрядов нижнего ряда, а также значения 1 и 0 верхнего ряда, не принадлежащие цепочкам переноса (на них не может поступить разрешающий преобразование сигнал), не подвергаются никакому преобразованию и сохраняются без изменений. Затем по вертикали разрядные элементы параллельно складывают коэффициенты равного веса в каждом разряде. Для цепочки (31) получится

$$+ \begin{Bmatrix} 0 & -1 & -1 & \dots & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 \end{Bmatrix} = \underbrace{10 \dots 00}_l. \quad (32)$$

В данном приложении в младшем разряде на выходе рассматриваемого преобразования всегда будет 0 в силу наличия в нем $\overset{1}{\underset{1}{\text{двоенных единиц}}}$ до начала преобразования, что отличает приложение данного преобразования от приложений в (21)–(23). Для примера (28) на выходе шага 1 получался двухрядный код с тремя цепочками переноса, этот код располагается над чертой:

0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1
1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0
0	0	-1	-1	0	-1	-1	0	-1	0	0	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0

Под чертой располагается тождественное преобразование этого кода, производимое разрядными элементами в каждом разряде (вне цепочек переноса, а также в единичных разрядах нижнего ряда данное преобразование не выполняется). Остается параллельно по всем разрядам сложить по вертикали коэффициенты равного веса, чтобы получить окончательное значение однорядного прямого кода суммы слагаемых (28).

0	0	-1	-1	0	-1	-1	0	-1	0	0	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1

Окончательный прямой код суммы (28) расположен под чертой.

Метод не меняется, если одно слагаемое дано в прямом коде, другое – в обратном. Тем самым он переносится на операцию вычитания. Однако определение знака разности сохраняет описанную ранее специфику.

Оценка и понижение сложности поразрядно-параллельного сумматора. Описанный на шагах 1, 2 сумматор двух чисел вида (2), (3) содержит $n + 1$ разрядных элементов, фактически представляющих собой логические элементы сравнительно небольшой сложности. Каждому разрядному элементу сопоставлен элемент & разрешающей параллельной схемы и дополнительный к нему элемент. На разряд с номером i (отсчет справа налево), $i = 0, 1, 2, \dots, n$, приходится $n - i + 1$ элементов & (рис. 2) и такое же количество дополнительных к ним элементов. В сумме количество \bar{S} элементов (сложность) сумматора составит

$$\bar{S} = n + 1 + 2 \sum_{i=0}^n (n - i + 1) = 3(n + 1) + 2 \sum_{i=1}^n i,$$

или

$$\bar{S} = (n + 3)(n + 1) \sim n^2. \quad (33)$$

Временная сложность t (время сложения) сумматора, измеряемая числом последовательных шагов его работы, определяется шагами 1, 2 (без модификации), длительность каждого из которых сопоставима с длительностью t переключения элемента. Отсюда время сложения двух $n + 1$ -разрядных двоичных полиномов определяется как

$$t \approx 2\tau = O(1), \quad (34)$$

где t формально не зависит от числа разрядов. Из изложенного вытекает

Теорема 2. *Поразрядно-параллельное сложение двух $(n + 1)$ -разрядных двоичных чисел вида (2), (3), выполняемое по шагам 1, 2, не использует вычисление переноса, выполняется с временной сложностью (34), не зависящей от числа разрядов $n + 1$. При этом количество элементов (сложность) сумматора оценивается из (33).*

Замечание 4. Если в условиях теоремы 2 используется видоизменение схемы на основе преобразования (32), то утверждение теоремы сохранится с оговоркой, что коэффициент оценки (34) увеличится примерно вдвое.

Квадратичное количество элементов сумматора влечет принципиальную трудность при неограниченном росте числа разрядов слагаемых. Непосредственно ниже обсуждается возможность снижения его сложности за счет увеличения числа шагов работы. Пусть $n + 1$ является целой степенью по основанию 2, пусть выбрано число q , также равное целой степени по основанию 2, причем $q < n + 1$. Предлагается все разряды слагаемых в порядке расположения разделить на q групп по $(n + 1) / q$ разрядов. Параллельно по всем q группам, в каждой группе выполняются оба шага поразрядно-параллельного сложения так, как если бы складывались два $(n + 1) / q$ -разрядных числа без какой-либо связи с другими группами. При этом первый шаг вертикального сложения бит равного веса выполняется так, как если бы не было деления на группы. В частности, для записи суммы бит равного веса старших разрядов группы используется младший разряд соседней группы второго ряда промежуточных рядов. В результате все переносы окажутся взаимно отделенными независимо от принадлежности к группам. С учетом (33) для данных двух шагов достаточно, чтобы схема на рис. 2 (она должна включать не отображенные на рисунке элементы), адаптированная к каждой отдельной группе, содержала $\bar{S}_q \sim (n / q)^2$ элементов. В сумме по всем q группам количество элементов составит

$$\sum \bar{S}_q \sim q \times (n/q)^2 = n^2/q. \quad (35)$$

Преобразования одновременно во всех группах будут выполнены за время (34). Все переносы внутри каждой группы, а также транзитные между группами, взаимно отделены парами вертикальных нулей, на втором шаге они взаимно независимо реализуются во всех отдельных группах. По окончании сложения в группах требуется выполнить каждый перенос (если таковой возникнет) из одной группы в другую. Такой перенос возникает, когда правая часть двухрядной цепочки из (31) оказывается справа от общей границы соседних групп, а левая – слева от этой границы. Пусть данная граница проходит непосредственно перед комбинацией $\begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix}$ между многоточиями:

$$\underbrace{011\dots 1\dots 11}_{\ell} = \underbrace{011\dots}_{\ell_1} + \underbrace{1\dots 11}_{\ell_2},$$

где $\ell_1 + \ell_2 = \ell$. Тогда преобразование в правой от границы части цепочки автоматический приведет к результату

$$\underbrace{11\dots 11}_{\ell_2} \Rightarrow \underbrace{10\dots 00}_{\ell_2+1}.$$

В то же время в левой от границы части цепочки ничего не изменится вследствие отсутствия преобразования (в левой части цепочки не было вертикально сдвоенной единицы переноса $\begin{matrix} 1 \\ 1 \end{matrix}$). В рассматриваемом случае единица переноса из правой части цепочки передается в младший разряд нижнего промежуточного ряда левой части, где образовавшаяся пара $\begin{matrix} 1 \\ 1 \end{matrix}$ дает новую двухрядную цепочку переноса, а в правой части останется однорядная комбинация нулей:

$$\underbrace{011\dots 11}_{\ell_1} + \underbrace{0\dots 00}_{\ell_2}.$$

Чтобы иметь возможность продолжить процесс переноса, непосредственно слева от границы между соседними группами должна располагаться разрешающая параллельная схема элементов &. Следующим шагом для реализации переноса будет инициация этой схемы вертикальной парой $\begin{matrix} 1 \\ 1 \end{matrix}$.

Предлагается схему преобразования цепочки переноса, описанную до теоремы 2 (и в самой этой теореме), распространить сразу на две соседние группы. Когда цепочка переноса транзитно распространяется на две соседние группы, то помимо переноса из младшего разряда правой группы аналогичный перенос априори мог сформироваться в младшем разряде левой группы. Здесь по-прежнему необходимо учитывать, что после шага 1 все переносы, независимо от принадлежности к разным группам и расположениям возле границ групп, взаимно отделены вертикальными парами $\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$.

В любом случае оба переноса взаимно отделены парами $\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$, и при распространении

преобразования на две группы эти переносы не накладываются друг на друга. Оба таких переноса могут быть взаимно независимо и параллельно реализованы с помощью двух схем, каждая из которых аналогична схеме на рис. 2, при этом разрешающие параллельные схемы элементов & каждой из них располагаются слева от границы (в младшем разряде) своей группы. Схема в правой группе рассчитана на суммарное количество разрядов обеих групп $2(n+1)/q$, схема в левой группе – на количество разрядов своей группы $(n+1)/q$. Две особенности схем для двух соседних групп в каждой рассматриваемой паре состоят в следующем. Обе разрешающие параллельные схемы элементов & иницируются вертикаль-

ными парами $\begin{matrix} 1 \\ 1 \end{matrix}$ только в младших разрядах

своих групп. В отличие от схемы на рис. 2 каждая иницированная схема не требует и не содержит разрешающих параллельных схем элементов &, сопоставленных всем разрядам внутри группы или двух групп, на которые она распространяется. Таким образом, сложность обеих схем измеряется только количеством разрядных элементов старших разрядов, на которые они распространяются, сложением с количеством элементов разрешающих параллельных схем. Для двух смежных групп это составит $\bar{S}_{2q} = 4(n+1)/q + 2(n+1)/q = 6(n+1)/q$. В сумме по всем $q/2$ парам групп получится $\sum \bar{S}_{2q} = q/2 \times (6(n+1)/q) = 3(n+1)$. На следующем шаге для продолжения переноса аналогично объединяются 4 группы. Соответственно число элементов схемы в объединенной четверке групп составит $\bar{S}_{4q} = 8(n+1)/q + 4(n+1)/q = 12(n+1)/q$.

В сумме по всем четверкам – $\sum \bar{S}_{4q} = q / 4 \times (12(n+1) / q) = 3(n+1)$. В продолжение процесса попарного объединения смежных групп на шаге с номером k получится

$$\begin{aligned} \bar{S}_{2^k q} &= 2^{k+1}(n+1) / q + 2^k(n+1) / q = (2^{k+1} + 2^k)(n+1) / q, \text{ и} \\ \sum \bar{S}_{2^k q} &= q / 2^k \times ((2^{k+1} + 2^k)(n+1) / q) = 3(n+1). \end{aligned} \tag{36}$$

Процесс переноса завершится на шаге k , при котором $q/2^k = 1$, или, $k = \log_2 q$. Объединение оценок (35) и (36) дает полную сложность всего предложенного сумматора:

$$\sum \bar{S}_q + \sum \bar{S}_{2^k q} \sim n^2 / q + 3n \sim n^2 / q. \tag{37}$$

С учетом (34) время работы сумматора составит

$$t \approx 2(1 + \log_2 q) \tau. \tag{38}$$

Если выбранное число групп q постоянно, то

$$t = O(1). \tag{39}$$

Теорема 3. Пусть $n + 1$ является целой степенью по основанию 2, и пусть выбрано число q , также равное целой степени по основанию 2, причем $q < n + 1$, q – постоянное. Пусть все разряды слагаемых в порядке расположения разделены на q групп по n / q разрядов. Тогда рассматриваемое поразрядно-параллельное сложение двух $(n + 1)$ -разрядных двоичных чисел вида (2), (3) с использованием деления разрядов по группам выполняется за время, оцениваемое из (38), (39) независимо от числа

разрядов. При этом количество элементов сумматора оценивается из (37), что в q раз меньше исходного количества (33).

Следствие 3. Если в условиях теоремы 3 $q = \beta(n + 1)$, $\beta < 1$, $\beta = \text{const}$, то q – переменная,

$$t \approx 2(1 + \log_2 n + \log_2 \beta) \tau \sim 2 \log_2 n \tau, \tag{40}$$

оценка (37) перейдет в оценку

$$\sum \bar{S}_q + \sum \bar{S}_{2^k q} \sim n / \beta + 3n = O(n). \tag{41}$$

В условиях следствия 3 сумматор имеет сложность пропорциональную числу разрядов слагаемых и выполняет сложение за время $O(\log_2 n)$ инвариантно относительно n .

О производительности поразрядно-параллельной обработки в системе с параллельно-конвейерной архитектурой. Умножение можно выполнять посредством поразрядно-параллельного суммирования столбцов школьной схемы с диагональной записью результатов, образующих промежуточные ряды. Промежуточные ряды сжимаются в два ряда, затем их сумма определяется поразрядно-параллельно без вычисления переноса. Например,

$$\begin{aligned} &\times \begin{Bmatrix} 1110011 \\ 1001111 \end{Bmatrix} = \\ &\left\{ \begin{array}{r} 1110011 \\ 1110011 \\ 1110011 \\ 1110011 \\ 0000000 \\ 0000000 \\ 1110011 \end{array} \right\} = \\ &\left\{ \begin{array}{r} 111100000001 \\ 0000100111110 \\ 0000011000000 \end{array} \right\} = \\ &\left\{ \begin{array}{r} 1111101111101 \\ 0001000000000 \end{array} \right\} = \\ &\left\{ \begin{array}{r} 1101101111101 \\ 0010000000000 \end{array} \right\} = \\ &\left\{ \begin{array}{r} -1-101101111101 \\ 1110000000000 \end{array} \right\} = \\ &= \left\{ 10001101111101 \right\} \end{aligned}$$

В последней сверху вниз строке фигурной скобкой с равенством означен результат умножения, в двух непосредственно предшествующих ей фигурных скобках – два дополнительных шага поразрядно-параллельного сложения пары слагаемых. Первой сверху вниз фигурной скобкой отмечены слагаемые школьной схемы умножения, второй фигурной скобкой – результат их сжатия в три промежуточных ряда, третьей – результат сжатия в два промежуточных ряда, и ниже размечено поразрядно-параллельное суммирование двух таких слагаемых. В общем случае инвариантно относительно количества разрядов сомножителей получается логарифмическое от этого количества число шагов сжатия слагаемых школьной схемы до двухрядного кода и два дополнительных шага их перевода в однорядный двоичный код суммы. Умножение по такой схеме имеет логарифмическую оценку временной сложности: $t = O(\log_2 n)$.

В [1, 4] даны различные варианты схем умножения, некоторые с формально более высоким быстродействием (в рамках обсуждаемой темы ниже они не рассматриваются).

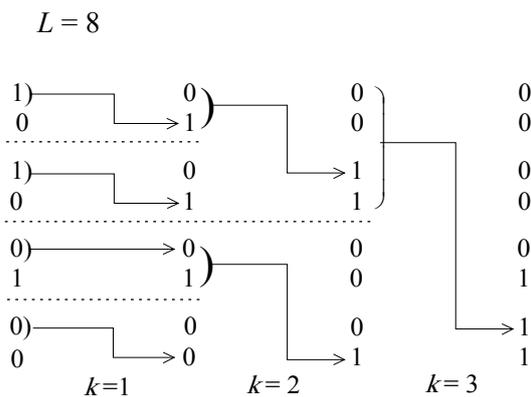


Рис. 3. Сложение L бит в унитарном коде

Метод в целом сводит потоковое сложение и потоковое умножение двоичных чисел исключительно к операциям вертикального сложения двоичных коэффициентов равного веса (к сложению бит). Сложение N бит без вычисления переноса реализуется за время $O(\log_2 n)$, один из вариантов схемы иллюстрирует рис. 3 ($N = L = 8$). В общем случае N бит располагаются по вертикали и разбиваются на пары. Верхний элемент пары сдвигается на позицию нижнего эле-

мента, если нижний элемент равен 0, иначе смещение не выполняется (шаг $k = 1$). Полученный набор преобразованных пар в порядке расположения снова разбивается на пары (два упорядоченных бита в паре). В каждой паре два верхних бита сдвигаются вниз на количество позиций равное числу нулей сверху в нижней паре. Если в нижней паре сверху единица, сдвиг не выполняется (шаг $k = 2$). Аналогичное преобразование и смещение по вертикали сверху вниз выполняется на последующих шагах. За $\log_2 N$ шагов все входные единицы окажутся на выходе схемы упорядоченными без пропуска снизу вверх. Каждая единица на выходе схемы должна запирает выходной сигнал нижестоящей единицы. Тогда незапертой окажется только верхняя из единиц. Остается сопоставить каждой позиции единственной выходной единицы постоянные линии связи, соединения с которыми находится в соответствии единичным коэффициентам двоичного номера позиции при отсчете снизу вверх (шифратор). На выходе шифратора образуется двоичный код суммы N входных бит. Полностью логическая схема устройства представлена в [2]. По этой схеме (или с помощью известных аналогов) сумма N бит находится с временной сложностью

$$t = O(\log_2 N), \quad (42)$$

где оценка (42) может интерпретироваться как логарифмическая задержка логической схемы.

Пусть на время выполнения оценки рассматривается абстрактная вычислительная система, реализующая изложенный метод. Потенциал ее производительности можно оценить на примере суммирования потока слагаемых (1), где слагаемые разбиты на группы по N , и сложение в каждой группе доводится до однорядного прямого кода суммы. В этом случае суммирование в группе состоит из поразрядно-параллельного сложения N бит за время (42), затем из поразрядно-параллельного сжатия $1 + \lceil \log_2 N \rceil$ промежуточных рядов, где число шагов m -кратного сжатия (до получения двухрядного кода промежуточных слагаемых) зависит только от априори фиксированного N и является постоянным. Число m рассчитывается элементарно: в соотношении сжатия до двух промежуточных рядов,

$$1 + \lceil \log_2 (1 + \lceil \log_2 (1 + \lceil \log_2 (1 + \dots + \lceil \log_2 N \rceil))) \rceil \rceil \rceil = 2,$$

выражение $\lceil \log_2 (1 + \dots) \rceil$ повторяется столько раз, сколько шагов нужно выполнить, чтобы это равенство стало верным. Если, например, $N = 10240$, то после первичной обработки входного набора число промежуточных рядов станет равным $1 + \lceil \log_2 10240 \rceil = 14$.

При первом сжатии их число сократится до $1 + \lceil \log_2 14 \rceil = 4$. Второе сжатие влечет $1 + \lceil \log_2 4 \rceil = 3$. Третье сжатие приводит к двум промежуточным рядам: $1 + \lceil \log_2 3 \rceil = 2$. В данном случае $m = 3$. В общем случае время выполнения m -кратного сжатия составит $t \leq m \log_2 \log_2 N \tau$, при этом $m \leq \log_2 \log_2 \log_2 N$ в случае $N \leq 10240$. Далее, два промежуточных слагаемых поразрядно-параллельно преобразуются за два шага в прямой однорядный двоичный код суммы за время $t = O(1)$. Объединение всех составляющих шагов влечет оценку временной сложности для текущей группы $T = O(\log_2 N)$. Подсоединение однорядного двоичного слагаемого к каждой новой группе входных слагаемых не изменит вид этой оценки (N заменяется на $N + 1$). В результате весь поток (1) будет обработан с временной сложностью

$$T = O(\log_2 N) \times P / N. \quad (43)$$

Оценка (43) формально не зависит от числа разрядов слагаемых. Вместе с тем она может быть улучшена в условиях специальной архитектуры вычислительной системы. Поскольку при каждом суммировании группы слагаемых все шаги обработки состоят из чередующихся однотипных операций, то процесс суммирования потока можно разложить на сегменты конвейера, соответственные каждому шагу (каждой операции). Такой конвейер имеет логарифмическую глубину загрузки $O(\log_2 N)$, такт конвейера имеет длительность $O(1)$, соизмеримую со временем переключения элемента. После загрузки в каждом такте конвейер принимает новый набор из N двоичных слагаемых потока (1). Временная сложность конвейера улучшает оценку (43)

за счет сокращения длительности обработки текущей группы N двоичных слагаемых до одного такта. В результате

$$T = O(P / N). \quad (44)$$

Для арифметики с вычислением переноса глубина загрузки конвейера на практике тактируется более длительно, время его работы зависит от числа разрядов слагаемых.

Потенциал роста производительности не исчерпывается организацией предложенного конвейера. Без изменения математической основы рассматриваемый конвейер увеличит производительность в два раза за счет использования параллельной работы двух таких конвейеров, при условии, что выход второго подключен к входу первого. При этом выходная сумма второго подсоединяется в качестве дополнительного слагаемого к входному набору слагаемых первого, а оба конвейера независимо друг от друга в каждом такте принимают на вход по одному новому набору из N слагаемых потока (1). В сумме это влечет $2N$ слагаемых в каждом такте. Если аналогично объединяются три конвейера, то производительность обработки потока вырастет в три раза ($3N$ слагаемых в такте) и т.д. Количество объединяемых параллельно работающих конвейеров формально не ограничено. Ниже показано расположение данных при объединении в одну параллельно-конвейерную вычислительную систему p исходно описанных конвейеров при обработке потока (1). Все p конвейеров работают параллельно, в каждом такте каждый из них принимает на вход новый набор N слагаемых, что в (45) отмечено угловыми стрелками. Выход $i+1$ -го конвейера подключен ко входу i -го

$$\begin{array}{ccccccc}
 & & \vdots & & \vdots & \dots & \vdots \\
 & a_{pN+N} & \vdots & a_{pN+2N} & \vdots & \dots & a_{2pN} & \vdots \\
 a_N & \swarrow & & \swarrow & & \dots & \swarrow & \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\
 & & \vdots & & \vdots & \dots & & \vdots \\
 & a_{pN+2} & \vdots & a_{pN+N+2} & \vdots & \dots & a_{pN+(p-1)N+2} & \vdots \\
 a_2 & \swarrow & \vdots & \swarrow & \vdots & \dots & \swarrow & \vdots \\
 & a_{pN+1} & \vdots & a_{pN+N+1} & \vdots & \dots & a_{pN+(p-1)N+1} & \vdots \\
 a_1 & \swarrow & & \swarrow & & \dots & \swarrow & \\
 & & & & & \dots & & \\
 \leftarrow \langle \bar{S}_N^1 \mid & & \leftarrow \langle \bar{S}_N^2 \mid & & \dots & & \leftarrow \langle \bar{S}_N^p \mid
 \end{array} \quad (45)$$

при каждом $i = 1, 2, \dots, p-1$, с тем чтобы $(i+1)$ -й передавал вычисленную им сумму \bar{S}_N^{i+1} на вход i -го, где i -й конвейер подсоединяет \bar{S}_N^{i+1} к своему новому входному набору. Как вариант организации вычислений, сумма \bar{S}_N^{i+1} может представляться в двухрядном коде. Производительность такой параллельно-конвейерной системы в p раз выше производительности одного отдельно взятого конвейера (pN слагаемых в каждом такте), оценка (44) перейдет в соответствующую оценку временной сложности рассматриваемой системы

$$T = c \times P / N / p, \quad c = const. \quad (46)$$

В частности, при $p = N$ (46) примет вид

$$T = c \times P / N^2, \quad c = const. \quad (47)$$

Оценки (46), (47) непосредственно не выражают значение τ . При достаточно большом числе слагаемых потока (1), $P \gg N^2$, в каждом такте длительности τ параллельно-конвейерной системы вычисляется новая сумма pN и соответственно N^2 чисел вида (2). Если, например, $N = 10^3$, то $N^2 = 10^6$, и система за такт единичной длительности вычисляет сумму 10^6 слагаемых. Оценка корректируется в зависимости от длительности τ . Если $\tau = 10^{-3}$ сек, то суммируется 10^9 слагаемых в секунду. Если $\tau = 10^{-6}$ сек, то суммируется 10^{12} слагаемых в секунду и т.д. Если же при $N = 10^3$ по схеме (45) объединяются $p = N^2$ конвейеров, то за такт единичной длительности суммируется 10^9 слагаемых, если в этом случае $\tau = 10^{-3}$ сек, то в секунду суммируется 10^{12} слагаемых, при $\tau = 10^{-6}$ сек в секунду суммируется 10^{15} двоичных слагаемых и т.д.

Замечание 5. Абстрактно можно рассматривать группы разбиения потока (1) не по N , а по N^2 слагаемых, которые в таком виде поступают на вход каждого конвейера. Нужно иметь в виду, что такие наборы слагаемых для вертикального сложения бит в каждом разряде допускают естественное распараллеливание по группам бит с несложным объединением сумм в группах в единую вертикальную сумму бит данного веса разряда. В этом случае в зависимости от конкретной длительности такта τ оценки производительности возрастут до более высоких значений. За такт единичной длительности будет суммироваться 10^{12} слагаемых. Если $\tau = 10^{-3}$ сек, то в секунду будет суммироваться 10^{15} слагаемых, при $\tau = 10^{-6}$ сек в секунду будет вычисляться сумма 10^{18} двоичных слагаемых и т.д.

Формально эти оценки, как и (43), (46), (47), не зависят от числа разрядов слагае-

мых. Насколько корректна такая абстракция, можно сопоставить приведенные оценки с оценками производительности действующих суперкомпьютеров. Так, самый мощный суперкомпьютер в мире на 2021 г. Fugaku [9] имеет архитектуру с 7 миллионами 630 тысячами 848 ядрами, по результатам тестирования High Performance Linpack получен результат в 442 петафлопса (442 квадриллиона, или 442×10^{15} , операций с плавающей точкой за секунду). Суперкомпьютер размещается в 432 стойках. Тестирование проводилось не на операциях сложения двоичных полиномов, а на специальных задачах с разнообразием арифметических операций с плавающей точкой. Это, однако, заведомо исключает независимость оценок производительности от числа разрядов данных, кроме того при обработке потока (1) оценки не сохраняются.

Замечание 6. Предложенный метод, будучи поразрядно-параллельным, в исходном варианте остается последовательным по шагам алгоритма выполнения арифметических операций. Реализация исходного метода предполагает последовательное программное управление, что не повлечет необходимость сотен стоек для размещения вычислительной системы.

Параллельно-конвейерная вычислительная система допускает адаптацию к потоку сомножителей, а также к потоку любых однотипных арифметических операций, являющихся композицией сложений и умножений, например к операциям суммы парных произведений (скалярное произведение векторов), умножения матрицы на столбец, на матрицу, умножения матрицы на вектор и сложение с вектором и другие.

О границах числа разрядов данных при поразрядно-параллельной обработке без вычисления переноса. Обработка без ограничения числа разрядов выше рассматривалась абстрактно, желательнее оценить длину разрядной сетки в аспекте потенциальной реализации предложенного метода. Как правило, в компьютерах с 64-битной разрядной сеткой мантиссы (вычисления с плавающей точкой с двойной точностью) диапазон представления чисел определяется неравенствами $\alpha \times 2^{-52} \times 2^{-1022} < a < \beta \times 2^{1024}$, где α, β – постоянные коэффициенты (в специализированных архитектурах возможны другие данные [10], ниже они не рассматриваются). Это означает, что число a для своего представления в позиционной двоичной системе требует не более 1074 разрядов, заведомо достаточно 2048 разрядов. Если вести арифметическую обработку с фиксированной точкой в диапазоне 2048 разрядов при ограничении, что число разрядов входных данных состав-

ляет не более $n + 1 = 64$, то для реализации рассматриваемого метода потребовалось бы 2^{11} параллельно работающих разрядных элементов. Современные сверхбольшие интегральные схемы (СБИС) насчитывают $10^6 > 2^9$ и более элементов. Объединение 4 таких СБИС в одной вычислительной системе формально решало бы проблему (в процессорах производства TSMC (AMD) по 7-нм техпроцессу 113,9 млн транзисторов на мм^2 [11]). В аспекте погрешности целесообразно принять во внимание, что вычисления с фиксированной точкой выполняются без операции «механического» сдвига при выравнивании порядков, поэтому при их выполнении не теряются значащие цифры операндов и результатов обработки. В то же время в процессе сложения с плавающей точкой потеря значащих цифр мантисы происходит в результате физического сдвига мантисы: младшие разряды выходят за пределы фиксированной разрядной сетки и теряются, при округлении результатов умножения для сохранения длины разрядной сетки отбрасывается половина младших разрядов мантисы произведения. В операциях с плавающей точкой потери значащих цифр мантисы представляют собой практически неконтролируемый процесс. Как альтернативу, для реализации предложенного метода можно рассматривать длину разрядной сетки входных и текущих данных до $n + 1 = 2^{11}$ и более. При поразрядно-параллельной арифметической обработке без вычисления переноса естественный параллелизм разрядных операций позволяет разделять обработку разрядов данных на взаимно независимые части, аналогично тому, как это рассматривалось в случае сложения чисел с формально не ограниченным числом разрядов. Разделенные части допускают параллельную синхронную обработку с простым обменом по фиксированным линиям связи. Приемлемый диапазон данных для обработки с фиксированной точкой можно выбрать с учетом оценок (38), (39) и (40), (41).

Вместе с тем для реализации обработки с фиксированной точкой возникают математические, схемные и технологические трудности. Первая из них – рост числа разрядов данных по ходу вычислений. Например, с каждым последовательным умножением длина разрядной сетки будет возрастать на n , при каждом умножении числа на себя она будет удваиваться. Миллиарды операций в секунду будут приводить к миллиардным значениям числа разрядов данных. Абстрактно можно рассматривать запись промежуточных данных в память по принципу счетчика, обсуждавшуюся вначале

(рис. 1). Более реалистично при каждом достижении априори заданной (по возможности высокой) границы числа разрядов округлять дробную часть числа до фиксированного количества разрядов. Можно допускать смешанный вариант обработки: до априори заданной границы числа разрядов вычисления выполняются с фиксированной точкой, при достижении границы выполняется округление дробной части. Если в ходе операций с округленным числом разрядов длина разрядной сетки превзойдет априори заданное значение, можно рассматривать переход на операции с плавающей точкой.

Вторая трудность поразрядно-параллельной обработки с длинной разрядной сеткой заключается в том, что существующие микросхемы требуют минимального числа внешних контактных соединений. Если в таких ограничениях ввод-вывод данных будет выполняться последовательно по разрядам, эффективность параллельной обработки разрядов будет падать с ростом числа разрядов. Если же ввод-вывод данных будет выполняться параллельно по разрядам, потребуется число внешних контактов, превосходящее допустимые технологические ограничения. Основой решения проблемы может служить естественный параллелизм обработки одновременно всех разрядов данных. Множество разрядов каждого из двух операндов с длинной разрядной сеткой можно разделять на равные части так, что в каждой части оказывается количество разрядов n_0 , где n_0 не превосходит требуемого ограничения, например, $n_0 \leq 32$. Каждая часть из n_0 разрядов может записываться в сопоставленный модуль запоминающего устройства, а также считываться из него согласно известному способу организации памяти. Составные части операндов при этом обрабатываются взаимно независимо, параллельно и синхронно на сопоставленных разрядных элементах. Результаты частичной обработки затем объединяются в окончательное значение всех разрядов каждого выходного данного на основе обмена по фиксированным линиям связи между разрядными элементами, при этом учитываются схемные решения, описанные выше для сложения чисел с произвольным числом разрядов: $n_0 = (n + 1) / q$, – теорема 3, следствие 3, оценки (37)–(41).

Отдельную трудность определяет существующая структура памяти, где адресация к ячейкам также имеет ограничение на число входов. Основой для решения может служить разделение разрядов данного на части по n_0 разрядов. Если каждой такой части взаимно однозначно сопоставить отдель-

ный модуль памяти, рассчитанный на n_0 бит, то между всеми частями разрядов операнда и множеством сопоставленных модулей памяти устанавливается взаимно однозначное соответствие. В этом случае каждая часть из n_0 разрядов и каждый модуль памяти из n_0 бит могут взаимодействовать, как в последовательных устройствах, – с отдельным устройством адресации и считывания по фиксированным линиям связи. При этом запись и считывание могут выполняться параллельно и синхронно по всем частям разрядов и по всем соответствующим модулям памяти. Обращение к памяти можно организовать взаимно независимо по всем параллельно работающим устройствам. Возможна единая адресация для всего операнда, где адрес его записи или считывания дублируется на каждый модуль. При этом модуль памяти к единому адресу добавляет свой фиксированный номер, а последующий процесс записи и считывания автоматически учитывает суммарный адрес. Адресованные данные по фиксированным линиям связи поступают в разрядные элементы, соответствующие считанной группе разрядов, и обратно. На этой основе можно рассматривать совмещение метода с существующей элементной базой.

Если метод в целом не ориентировать на создание специальной элементной базы и архитектуры вычислительной системы, то по своей конструкции он может использоваться для увеличения производительности и снижения погрешности вычислительной обработки путем ускорения операций (за счет отсутствия вычисления переноса) и непосредственного удлинения разрядной сетки.

Некоторые сравнительные оценки. В заключение можно отметить, что распространение метода на точный поиск сверхдлинных слов обсуждается в [6], на быстрое преобразование структур данных – в [7]. Изложенные результаты сравнимы с известными, в частности, в следующих аспектах. Тематика работы сохраняет актуальность от начала создания вычислительных систем [12–14]. В исходном варианте предложенный метод позволяет сохранить последовательное программное управление, тогда как параллельное программное управление критически сложно в отношении эффективности использования многопроцессорных вычислительных систем [15]. Существующие методы синтеза параллельных сумматоров основаны на преобразованиях булевых формул и функций [14]. Известные оценки временной сложности параллельных сумматоров имеют вид $t \leq \log_2 n + O(\sqrt{\log_2 n})$

[14, 16] и $t \leq \log_2 n + \log_2 \log_2 n \pm O(1)$ [17], в [14, 18] приводится оценка $t \leq \log_2 n + o(\log_2 n)$, сумматоры имеют линейную сложность, порядок временной сложности не улучшается вследствие логарифмической нижней оценки глубины схемы [14, 18]. В излагаемой работе сумматор построен без преобразований булевых формул и функций, имеет временную сложность $t = O(1)$ независимо от числа разрядов (теоремы 2, 3), но число его элементов (в начальной версии) является квадратичным. С другой стороны, функциональные возможности метода, лежащего в основе построения сумматора, позволяют адаптировать его к сверхдлинной разрядной сетке, распространяются на групповую обработку числовых данных, расширяются до уровня организации параллельно-конвейерной системы без вычисления переноса.

Заключение

В работе показана возможность выполнения групповых и бинарных арифметических операций без вычисления переноса, что позволяет вести обработку параллельно по всем разрядам операндов с удлиненной разрядной сеткой. Используемая арифметика эквивалентна обычной арифметике, обладает потенциалом увеличения производительности и снижения погрешности вычислительной обработки в компьютере с архитектурой, проектируемой на ее основе, в начальной версии архитектуры сохраняется последовательное программное управление.

Список литературы

1. Ромм Я.Е. Метод вертикальной обработки потока целочисленных групповых данных. I. Групповые арифметические операции // Кибернетика и системный анализ. 1998. № 3. С. 123–151.
2. Ромм Я.Е. Метод вертикальной обработки потока целочисленных групповых данных. II. Приложение к бинарным операциям // Кибернетика и системный анализ. 1998. № 6. С. 146–162.
3. Ромм Я.Е. Метод вертикальной обработки потока целочисленных групповых данных. III. Приложение к бинарным операциям // Кибернетика и системный анализ. 1999. № 1. С. 152–165.
4. Иванова А.С. Расширение диапазона данных для вертикальной потоковой обработки применительно к сортировке со слиянием и параллельному поиску: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Таганрог: ЮФУ, 2013. 22 с.
5. Ромм Я.Е., Иванова А.С. Метод расширения числового диапазона при вертикальной арифметической обработке // Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. № 2. С. 35–43.
6. Ромм Я.Е., Белоконова С.С. Метод точного информационного поиска на основе разрядного распараллеливания // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 7. С. 90–98.
7. Чабанок Д.А. Преобразование информационных данных и двоичных структур с минимизацией временной

сложности на основе алгоритмов сортировки: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Таганрог: ЮФУ, 2018. 21 с.

8. Ромм Я.Е. Об ускорении линейных стационарных итерационных процессов в многопроцессорных ЭВМ. II // Кибернетика. 1982. № 3. С. 64–67.

9. Тарелкин Е. Fugaku – самый быстрый суперкомпьютер в мире. Storage News. 2020. № 1 (76). С. 56–60. URL: www.storagenews.ru (дата обращения: 20.04.2022).

10. Cheney E., Kincaid D. Numerical Mathematics and Computing. Brooks/Cole: Cengage Learning. 2012. 678 p. URL: <https://web.ma.utexas.edu> (дата обращения: 20.04.2022).

11. Smith, Ryan. AMD “Rome” EPYC CPUs to Be Fabled By TSMC // AnandTech. Retrieved June 18, 2019. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Epuc#cite_note-anandtech-17 (дата обращения: 20.04.2022).

12. Закаблуков Д.В. Методы синтеза обратимых схем из функциональных элементов NOT, CNOT и 2-CNOT: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Москва: МГТУ, 2018. 22 с.

13. Сергеев И.С. Некоторые вопросы синтеза параллельных схем: автореф. дис. ... докт. физ.-мат. наук. М.: МГУ, 2021. 38 с.

14. Гашков С.Б., Сергеев И.С. О значении работ В.М. Храпченко // Прикладная дискретная математика. 2020. № 48. С. 109–124.

15. Matlof N. Parallel Computing for Data Science. U.S. Taylor & Francis Group, LLC. 2013. 160 p. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.467.9918&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения: 20.04.2022).

16. Held S., Spirkl S.T. Binary adder circuits of asymptotically minimum depth, linear size, and fan-out two. ACM Trans. Algorithms. 2017. Vol. 14. No. 1. P. 4:1–4:18.

17. Commentz-Walter B. Size-depth tradeoff in monotone Boolean formulae // Acta Inf. 1979. Vol. 12. P. 227–243.

18. Held S., Spirkl S.T. Binary Adder Circuits of Asymptotically Minimum Depth, Linear Size, and Fan-Out Two // ACM Transactions on Algorithms (TALG). January 2018. Vol. 14. Iss. 1. Article No. 4. P. 1–18.

УДК 004.9

ОБ ОБЛАСТЯХ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С НЕЭКВИВАЛЕНТНЫМИ КАНАЛАМИ

Самерханов И.З.

*ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,
Казань, e-mail: ildar.samerhanov@mail.ru*

В работе представлены результаты комплекса имитационных экспериментов на базе программного обеспечения AnyLogic, в рамках которого проведен сравнительный анализ показателей эффективности систем массового обслуживания с каналами различной производительности и систем массового обслуживания с каналами одинаковой производительности. В качестве показателей эффективности систем рассматривались P_0 – вероятность того, что система свободна, и $P_{\text{отк}}$ – вероятность того, что все каналы системы заняты и вновь поступившая заявка выйдет необслуженной. В рамках работы были рассмотрены трех- и четырехканальные системы с отказами, функционирующие в режиме пуассоновских потоков. Для систем с неэквивалентными каналами в процессе имитационных экспериментов варьировались соотношения интенсивностей каналов, а в качестве базы для сравнения была принята система с одинаковыми каналами, обладающая той же суммарной интенсивностью обслуживания, что и система с неэквивалентными каналами. Для обеих систем также варьировалась интенсивность входного потока. Проанализирована зависимость эффективности систем массового обслуживания с неэквивалентными каналами от соотношения интенсивностей каналов и интенсивности входного потока. Установлены области, в которых системы с неэквивалентными каналами могут быть эффективнее систем с одинаковыми каналами.

Ключевые слова: система массового обслуживания, неэквивалентные каналы, администрирование потоков, имитационная модель, области эффективности

ON THE AREAS OF EFFICIENCY OF QUEUING SYSTEMS WITH NON-EQUIVALENT CHANNELS

Samerkhanov I.Z.

Kazan National Research Technological University, Kazan, e-mail: ildar.samerhanov@mail.ru

The paper presents the results of a set of simulation experiments based on AnyLogic software, in which a comparative analysis of the performance indicators of queuing systems with channels of different performance and queuing systems with channels of the same performance is carried out. As indicators of the effectiveness of the systems, P_0 – the probability that the system is free, and $P_{\text{отк}}$ – the probability that all channels of the system are busy, and the newly received application will go unserved. As part of the work, three and four-channel systems with failures operating in the mode of Poisson flows were considered. For systems with non-equivalent channels, the channel intensity ratios varied during simulation experiments, and a system with the same channels with the same total service intensity as a system with non-equivalent channels was adopted as a basis for comparison. The intensity of the input stream also varied for both systems. The dependence of the efficiency of queuing systems with non-equivalent channels on the ratio of channel intensities and the intensity of the input stream is analyzed. The areas in which systems with non-equivalent channels can be more efficient than systems with the same channels have been identified.

Keywords: queuing system, non-equivalent channels, flow administration, simulation model, efficiency areas

Математические и имитационные модели, разработанные на основе теории массового обслуживания, применяются для описания большого количества систем, существующих в реальной жизни [1–3]. Большая часть научных работ и исследований по данной тематике посвящена системам массового обслуживания, обладающим каналами с одинаковой интенсивностью обслуживания. Вместе с тем очевидно, что в прикладных задачах каналы зачастую обладают различными интенсивностями работы, т.е. являются неэквивалентными.

Целью данного исследования является установление областей параметров для трех- и четырехканальных систем массового обслуживания, в которых системы с неэквивалентными каналами являются

эффективнее, чем системы с одинаковыми каналами.

Материалы и методы исследования

Для администрирования входного потока в системах массового обслуживания (СМО) с неэквивалентными каналами выделяют три схемы распределения потока заявок: равновероятно между каналами, пропорционально интенсивностям каналов и с приоритетом канала наибольшей интенсивности [4]. В рамках данной работы для проведения комплекса имитационных экспериментов была использована схема распределения заявок с приоритетом на канал наибольшей интенсивности, так как данная схема показала себя наиболее эффективной в рамках предыдущих имитационных экспериментов.

Известно, что важными критериями эффективности систем массового обслуживания с отказами являются следующие стационарные характеристики: P_0 – вероятность того, что система свободна, и $P_{отк}$ – вероятность того, что в системе все каналы обслуживания заняты и, соответственно, при поступлении новой заявки она выйдет необслуженной.

В рамках имитационного эксперимента поставлена задача установления таких областей параметров систем массового обслуживания, при которых системы с неэквивалентными каналами будут эффективнее, чем системы с эквивалентными каналами, т.е. таких параметров, для которых выполняются следующие условия:

$$P_0(\text{неэкв.}) > P_0(\text{экв.})$$

или

$$P_{отк}(\text{неэкв.}) < P_{отк}(\text{экв.}),$$

где $P_0(\text{неэкв.})$ – вероятность того, что система с неэквивалентными каналами свободна, $P_0(\text{экв.})$ – вероятность того, что система с эквивалентными каналами свободна, $P_{отк}(\text{неэкв.})$ – вероятность отказа в системе с неэквивалентными каналами, $P_{отк}(\text{экв.})$ – вероятность отказа в системе с эквивалентными каналами.

При этом также должно выполняться условие одинаковой суммарной интенсивности СМО с неэквивалентными каналами и СМО с эквивалентными каналами, то есть

$$\sum_{i=1}^n \mu_i(\text{экв.}) = \sum_{i=1}^n \mu_i(\text{неэкв.}),$$

где n – количество каналов, μ_i – интенсивность i -го канала.

Для проведения имитационных экспериментов был использован программный

комплекс AnyLogic, хорошо зарекомендовавший себя для решения задач подобного рода [5, 6].

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 1 продемонстрированы параметры СМО, которые использовались для эксперимента с трехканальной системой. В качестве базиса для сравнения использовалась СМО с каналами, обладающими равными интенсивностями обслуживания $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = 3$. Параметры каналов для СМО с неэквивалентными каналами при этом варьировались от незначительной разницы между друг другом (строка П-1) до значимой (строка П-9).

При этом в рамках эксперимента также варьировались значения интенсивности входного потока λ от 1 до 25.

В табл. 2 приведены результаты, полученные для СМО с эквивалентными каналами при $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = 3$ и СМО с неэквивалентными каналами при $\mu_1 = 2,5; \mu_2 = 3; \mu_3 = 3,5$.

В столбце $P_0(\text{неэкв.}) - P_0(\text{экв.})$ представлена разность между значениями P_0 в СМО с неэквивалентными каналами и СМО с эквивалентными каналами. Таким образом, положительные значения данного столбца указывают на то, что при данных параметрах каналов СМО с неэквивалентными каналами эффективнее, чем СМО с одинаковыми каналами. При этом особо выражено этот эффект проявляется при небольших значениях λ , то есть в тех случаях, когда система загружена незначительно (результаты при λ от 1 до 5). Вполне очевидно, что столь значимая разность не может быть отнесена к погрешностям метода имитационного моделирования.

Таблица 1

Параметры трехканальной СМО с отказами

		μ_1	μ_2	μ_3
Эквивалентные каналы		3	3	3
Неэквивалентные каналы	П-1	2,5	3	3,5
	П-2	2	3	4
	П-3	1,5	3	4,5
	П-4	1	3	5
	П-5	0,5	3	5,5
	П-6	0,5	2,5	6
	П-7	0,5	2	6,5
	П-8	0,5	1,5	7
	П-9	0,5	1	7,5

Таблица 2

Результаты имитационных экспериментов

λ	Эквивалентные каналы $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = 3$		Неэквивалентные каналы $\mu_1 = 2,5; \mu_2 = 3; \mu_3 = 3,5$		$P_0(\text{неэкв.}) - P_0(\text{экв.})$	$P_{\text{отк}}(\text{экв.}) - P_{\text{отк}}(\text{неэкв.})$
	P0	P7	P0	P7		
1	0,715	0,005	0,747	0,003	0,032	0,002
2	0,52	0,025	0,546	0,023	0,026	0,002
3	0,378	0,061	0,401	0,059	0,023	0,002
4	0,275	0,109	0,301	0,106	0,026	0,003
5	0,206	0,159	0,224	0,156	0,018	0,003
6	0,161	0,213	0,172	0,204	0,011	0,009
7	0,126	0,254	0,136	0,25	0,010	0,004
8	0,096	0,306	0,102	0,3	0,006	0,006
9	0,078	0,341	0,081	0,342	0,003	-0,001
10	0,065	0,38	0,066	0,378	0,001	0,002
11	0,053	0,415	0,056	0,415	0,003	0
12	0,042	0,449	0,046	0,446	0,004	0,003
13	0,037	0,476	0,036	0,477	-0,001	-0,001
14	0,031	0,507	0,033	0,506	0,002	0,001
15	0,026	0,531	0,026	0,529	0	0,002
16	0,021	0,553	0,024	0,543	0,003	0,01
17	0,019	0,569	0,02	0,569	0,001	0
18	0,017	0,589	0,017	0,588	0	0,001
19	0,014	0,611	0,015	0,606	0,001	0,005
20	0,013	0,622	0,013	0,622	0	0
21	0,01	0,634	0,011	0,636	0,001	-0,002
22	0,01	0,648	0,01	0,653	0	-0,005
23	0,009	0,664	0,009	0,662	0	0,002
24	0,008	0,675	0,008	0,679	0	-0,004
25	0,007	0,683	0,007	0,69	0	-0,007

В столбце $P_{\text{отк}}(\text{экв.}) - P_{\text{отк}}(\text{неэкв.})$ представлена разность между значениями $P_{\text{отк}}$ в СМО с эквивалентными каналами и СМО с неэквивалентными каналами. Положительные значения здесь также указывают на то, что при данных параметрах каналов СМО с неэквивалентными каналами эффективнее, чем СМО с одинаковыми каналами.

Аналогичные расчеты были проведены и для СМО с другими интенсивностями каналов (строки П-2, П-3 и др. из табл. 1), результаты сведены в табл. 3. Значения в таблице равны разности $P_0(\text{неэкв.}) - P_0(\text{экв.})$. Положительные значения в таблице указывают на параметры СМО, при которых система с неэквивалентными каналами эффективнее, чем СМО с эквивалентными каналами, при одинаковой суммарной интенсивности. Отрицательные значения ука-

зывают на параметры, при которых СМО с одинаковыми каналами оказываются предпочтительнее.

По результатам анализа материалов таблицы видно, что СМО с неэквивалентными каналами эффективнее своего аналога с одинаковыми каналами в тех случаях, когда разница соотношения каналов невелика. Вместе с тем при большой разнице между каналами обслуживания СМО с неэквивалентными каналами эффективна только при малых интенсивностях входного потока λ .

Аналогичный анализ проведен и для параметра $P_{\text{отк}}$. Результаты продемонстрированы в табл. 4. Значения в таблице равны разности $P_{\text{отк}}(\text{экв.}) - P_{\text{отк}}(\text{неэкв.})$. Положительные значения указывают на параметры, при которых СМО с неэквивалентными параметрами эффективнее, чем СМО с одинаковыми каналами.

Таблица 3

Разность P_0 в трехканальных СМО
с неэквивалентными и эквивалентными каналами

λ	$P_0(\text{неэкв.}) - P_0(\text{экв.})$								
	П-1	П-2	П-3	П-4	П-5	П-6	П-7	П-8	П-9
1	0,032	0,054	0,068	0,081	0,086	0,092	0,094	0,090	0,076
2	0,026	0,054	0,071	0,078	0,05	0,056	0,048	0,031	-0,008
3	0,023	0,041	0,05	0,042	-0,009	-0,01	-0,018	-0,023	-0,066
4	0,026	0,037	0,045	0,029	-0,037	-0,031	-0,034	-0,055	-0,087
5	0,018	0,027	0,026	0,009	-0,047	-0,046	-0,05	-0,068	-0,088
6	0,011	0,015	0,010	-0,006	-0,044	-0,053	-0,052	-0,066	-0,083
7	0,010	0,009	0,003	-0,012	-0,048	-0,048	-0,05	-0,058	-0,072
8	0,006	0,009	0,006	-0,012	-0,039	-0,04	-0,042	-0,046	-0,058
9	0,003	0,005	0,001	-0,013	-0,037	-0,036	-0,039	-0,045	-0,051
10	0,001	0,001	-0,003	-0,01	-0,032	-0,033	-0,038	-0,04	-0,044
11	0,003	0,002	-0,002	-0,012	-0,026	-0,027	-0,03	-0,034	-0,038
12	0,004	0,004	-0,001	-0,009	-0,022	-0,022	-0,024	-0,026	-0,03
13	-0,001	-0,001	-0,004	-0,01	-0,021	-0,022	-0,022	-0,023	-0,028
14	0,002	0	-0,003	-0,008	-0,017	-0,017	-0,02	-0,022	-0,023
15	0	0,002	-0,003	-0,008	-0,014	-0,016	-0,015	-0,018	-0,02
16	0,003	0,001	-0,001	-0,006	-0,011	-0,013	-0,013	-0,014	-0,015
17	0,001	0,001	-0,002	-0,005	-0,011	-0,012	-0,012	-0,013	-0,015
18	0	-0,001	-0,002	-0,005	-0,01	-0,01	-0,011	-0,012	-0,013
19	0,001	0	-0,001	-0,004	-0,008	-0,008	-0,008	-0,009	-0,011
20	0	-0,001	-0,002	-0,004	-0,008	-0,008	-0,008	-0,01	-0,011
21	0,001	0,001	-0,002	-0,002	-0,005	-0,006	-0,006	-0,007	-0,007
22	0	0	-0,001	-0,003	-0,006	-0,006	-0,006	-0,007	-0,008
23	0	-0,001	-0,001	-0,003	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	-0,007
24	0	0	-0,002	-0,003	-0,005	-0,005	-0,006	-0,006	-0,007
25	0	0	-0,001	-0,002	-0,004	-0,004	-0,005	-0,005	-0,005

Таблица 4

Разность $P_{отк}$ в трехканальных СМО
с неэквивалентными и эквивалентными каналами

λ	$P_{отк}(\text{экв.}) - P_{отк}(\text{неэкв.})$								
	П-1	П-2	П-3	П-4	П-5	П-6	П-7	П-8	П-9
1	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002
2	0,002	0,004	0,006	0,005	0,003	0,004	0,003	0	-0,005
3	0,002	0,005	0,006	0,003	-0,002	-0,003	-0,007	-0,01	-0,02
4	0,003	0,006	0,008	0,006	-0,009	-0,009	-0,009	-0,02	-0,034
5	0,003	0,008	0,006	0,001	-0,016	-0,017	-0,022	-0,035	-0,05
6	0,009	0,007	0,004	0,003	-0,017	-0,019	-0,022	-0,036	-0,054
7	0,004	0,005	-0,002	-0,011	-0,031	-0,03	-0,034	-0,046	-0,065
8	0,006	0,006	0,007	-0,007	-0,022	-0,025	-0,029	-0,046	-0,057
9	-0,001	-0,003	-0,001	-0,016	-0,033	-0,032	-0,04	-0,054	-0,067

Окончание табл. 4

λ	$P_{отк}(\text{экв.}) - P_{отк}(\text{неэкв.})$								
	П-1	П-2	П-3	П-4	П-5	П-6	П-7	П-8	П-9
10	0,002	-0,004	-0,004	-0,008	-0,032	-0,028	-0,038	-0,053	-0,066
11	0	0	-0,007	-0,01	-0,028	-0,031	-0,033	-0,047	-0,064
12	0,003	0	-0,007	-0,009	-0,019	-0,026	-0,034	-0,039	-0,054
13	-0,001	-0,005	-0,001	-0,012	-0,026	-0,031	-0,033	-0,043	-0,054
14	0,001	0,003	0,003	-0,009	-0,017	-0,024	-0,03	-0,035	-0,046
15	0,002	0,006	-0,006	-0,011	-0,018	-0,019	-0,026	-0,033	-0,045
16	0,01	0,005	0,001	-0,008	-0,013	-0,024	-0,023	-0,036	-0,038
17	0	-0,001	-0,01	-0,009	-0,022	-0,024	-0,03	-0,031	-0,042
18	0,001	0,001	-0,001	-0,008	-0,016	-0,023	-0,031	-0,029	-0,04
19	0,005	0,007	0,001	-0,007	-0,011	-0,01	-0,016	-0,025	-0,033
20	0	-0,002	-0,003	-0,009	-0,017	-0,018	-0,02	-0,033	-0,036
21	-0,002	0,002	-0,014	-0,01	-0,019	-0,02	-0,02	-0,028	-0,035
22	-0,005	-0,006	-0,004	-0,01	-0,014	-0,019	-0,019	-0,024	-0,032
23	0,002	0,003	-0,004	-0,001	-0,015	-0,01	-0,014	-0,02	-0,026
24	-0,004	0,001	-0,004	-0,008	-0,009	-0,012	-0,015	-0,021	-0,026
25	-0,007	-0,002	-0,004	-0,002	-0,013	-0,017	-0,019	-0,019	-0,027

Таблица 5

Параметры четырехканальной СМО с отказами

		μ_1	μ_2	μ_3	μ_4
Эквивалентные каналы		5	5	5	5
Неэквивалентные каналы	П-1	3	4	6	7
	П-2	2	4	6	8
	П-3	1	4	6	9
	П-4	1	3	6	10
	П-5	1	2	6	11
	П-6	1	2	5	12
	П-7	1	2	4	13
	П-8	1	2	3	14

По материалам таблицы видно, что для $P_{отк}$ прослеживается та же тенденция: при небольшой разнице между соотношениями интенсивностей каналов СМО с неэквивалентными каналами являются более эффективными. Однако при большой разнице между каналами эффект проявляется только при малых значениях входного потока λ .

Аналогичный комплекс имитационных экспериментов был проведен для четырехканальных систем массового обслуживания. Параметры рассматриваемых СМО указаны в табл. 5, а в качестве базиса сравнения была принята СМО с эквивалентными каналами

$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 5$. Интенсивность входного потока варьировалась от 5 до 30.

Результаты имитационных экспериментов в табл. 6 демонстрируют, что, по аналогии с трехканальной системой, СМО с неэквивалентными каналами эффективнее своих традиционных аналогов в том случае, если разница между соотношениями интенсивностей неэквивалентных каналов невелика, а также в случае слабой загруженности системы, т.е. малых значений входного потока λ .

В табл. 7 представлены результаты для $P_{отк}$, при этом очевидно, что области эффективности в большинстве случаев сохраняются.

Таблица 6

Разность P_0 в четырехканальных СМО
с неэквивалентными и эквивалентными каналами

λ	$P_0(\text{неэкв.}) - P_0(\text{экв.})$							
	П-1	П-2	П-3	П-4	П-5	П-6	П-7	П-8
5	0,081	0,100	0,106	0,121	0,127	0,124	0,121	0,093
6	0,075	0,095	0,088	0,095	0,094	0,091	0,087	0,062
7	0,060	0,081	0,062	0,068	0,062	0,065	0,056	0,030
8	0,054	0,065	0,044	0,052	0,037	0,038	0,029	0,014
9	0,045	0,055	0,028	0,033	0,026	0,019	0,015	0
10	0,036	0,041	0,018	0,020	0,010	0,006	0	-0,012
11	0,024	0,033	0,003	0,007	-0,005	-0,008	-0,014	-0,021
12	0,024	0,020	0,003	0,004	-0,011	-0,013	-0,012	-0,025
13	0,019	0,018	-0,005	-0,003	-0,012	-0,009	-0,017	-0,023
14	0,018	0,012	-0,006	-0,011	-0,013	-0,016	-0,020	-0,024
15	0,013	0,008	-0,007	-0,010	-0,012	-0,015	-0,017	-0,024
16	0,012	0,008	-0,007	-0,009	-0,009	-0,014	-0,016	-0,018
17	0,007	0,004	-0,007	-0,011	-0,015	-0,015	-0,017	-0,022
18	0,009	0,004	-0,007	-0,007	-0,011	-0,013	-0,014	-0,017
19	0,007	0	-0,009	-0,012	-0,013	-0,014	-0,015	-0,018
20	0,007	0,002	-0,007	-0,007	-0,012	-0,010	-0,012	-0,013
21	0,003	-0,001	-0,007	-0,008	-0,012	-0,012	-0,011	-0,013
22	0,002	-0,001	-0,007	-0,009	-0,010	-0,010	-0,012	-0,014
23	0,002	0,001	-0,006	-0,006	-0,009	-0,008	-0,009	-0,012
24	0,002	0	-0,007	-0,007	-0,008	-0,010	-0,010	-0,012
25	0	-0,002	-0,006	-0,008	-0,008	-0,011	-0,011	-0,012
26	0,001	-0,001	-0,007	-0,007	-0,009	-0,008	-0,008	-0,010
27	0	-0,001	-0,004	-0,005	-0,007	-0,008	-0,008	-0,009
28	0,001	0,001	-0,004	-0,003	-0,005	-0,005	-0,006	-0,007
29	0	-0,001	-0,005	-0,006	-0,007	-0,008	-0,007	-0,007
30	0,001	0	-0,003	-0,004	-0,004	-0,004	-0,005	-0,005

Таблица 7

Разность $P_{\text{отк}}$ в четырехканальных СМО
с неэквивалентными и эквивалентными каналами

λ	$P_{\text{отк}}(\text{экв.}) - P_{\text{отк}}(\text{неэкв.})$							
	П-1	П-2	П-3	П-4	П-5	П-6	П-7	П-8
5	0,004	0,006	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005	0,004
6	0,007	0,007	0,008	0,007	0,007	0,005	0,005	0,001
7	0,006	0,009	0,007	0,006	0,006	0,005	0,002	-0,003
8	0,009	0,011	0,006	0,008	0,004	0,003	0	-0,004
9	0,008	0,009	0,004	0,004	0,002	-0,002	-0,003	-0,011
10	0,006	0,006	0	0,002	-0,003	-0,007	-0,011	-0,017
11	0,003	0,009	-0,004	-0,003	-0,009	-0,011	-0,018	-0,021
12	0,008	0,006	-0,002	-0,004	-0,018	-0,017	-0,018	-0,028
13	0,009	0,005	-0,008	-0,008	-0,018	-0,022	-0,021	-0,036

Окончание табл. 7

14	0,013	0,005	-0,003	-0,013	-0,019	-0,022	-0,027	-0,037
15	0,017	0,011	0	-0,002	-0,013	-0,013	-0,021	-0,034
16	0,012	0,009	-0,003	-0,006	-0,015	-0,020	-0,026	-0,032
17	0,011	0,004	-0,003	-0,011	-0,026	-0,025	-0,028	-0,041
18	0,011	0,003	-0,008	-0,009	-0,017	-0,023	-0,029	-0,044
19	0,01	0,003	-0,007	-0,021	-0,022	-0,026	-0,034	-0,045
20	0,018	0,007	-0,004	-0,006	-0,021	-0,016	-0,026	-0,038
21	0	0,001	-0,006	-0,012	-0,022	-0,028	-0,032	-0,040
22	0,007	0,003	-0,007	-0,013	-0,019	-0,027	-0,029	-0,039
23	0,001	-0,003	-0,006	-0,011	-0,023	-0,021	-0,027	-0,039
24	0,010	0,006	-0,008	-0,012	-0,019	-0,022	-0,035	-0,045
25	-0,004	-0,004	-0,019	-0,020	-0,022	-0,032	-0,039	-0,047
26	0,002	0,002	-0,010	-0,016	-0,029	-0,031	-0,039	-0,041
27	0,001	-0,001	-0,007	-0,014	-0,020	-0,027	-0,030	-0,041
28	0,001	-0,007	-0,020	-0,019	-0,025	-0,027	-0,042	-0,045
29	-0,005	-0,004	-0,014	-0,016	-0,023	-0,032	-0,037	-0,042
30	0,006	-0,002	-0,007	-0,011	-0,017	-0,019	-0,023	-0,036

Заключение

В результате комплекса имитационных экспериментов были установлены области параметров для трех- и четырехканальных систем массового обслуживания, в которых системы с неэквивалентными каналами в условиях администрирования входного потока могут быть эффективнее, чем системы с одинаковыми каналами. Также в работе продемонстрирована зависимость показателей эффективности систем с неэквивалентными каналами от соотношения интенсивностей каналов и величины интенсивности входного потока.

Список литературы

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учебник. М.: КНОРУС, 2010. 664 с.
2. Карташевский В.Г. Основы теории массового обслуживания. М.: Горячая линия – Телеком, 2013. 130 с.
3. Рыжиков Ю.И. Численные методы теории очередей. ЭБС Лань. 2019. 512 с.
4. Нуриев Н.К., Печеный Е.А., Старыгина С.Д. Математическое моделирование системы массового обслуживания с каналами разной производительности // Современные наукоемкие технологии. 2021. В. 1. С. 31–36.
5. Боев Б.В. Компьютерное моделирование в среде AnyLogic: учебное пособие для вузов. М.: Издательство «Юрайт», 2019. 198 с.
6. Якимов И.М., Кирпичников А.П., Мокшин В.В. Моделирование сложных систем в имитационной среде AnyLogic // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 13. С. 352–357.

УДК 004.054

ЮЗАБИЛИТИ-ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ: ЗАДАЧИ, ПАРАМЕТРЫ И КРИТЕРИИ, МЕТОД ОЦЕНКИ

¹Тархов С.В., ²Тархова Л.М.¹ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»,

Уфа, e-mail: tarkhov@inbox.ru;

²ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет»

Уфа, e-mail: tarkhova@inbox.ru

Рассмотрены задачи проведения юзабилити-исследования пользовательских приложений, перечень которых определен в соответствии с отечественными и международными стандартами в области программной инженерии, устанавливающими требования к проектированию и оценке качества эргономичных интерфейсов человеко-машинного взаимодействия. Разработан метод юзабилити-исследования пользовательских приложений, позволяющий оценивать уровень их качества по выбранным параметрам и критериям. В качестве базового инструмента для анализа причинно-следственных связей при юзабилити-исследовании пользовательских приложений и построения структурной диаграммы критериев оценки применена диаграмма Исикавы. Метод юзабилити-оценки пользовательских приложений предусматривает применение матричного способа обработки иерархической структуры оценочных показателей, импортных инструментов построения диаграммы Исикавы. Расчеты выполнены средствами электронных таблиц. Приведена математическая модель расчета интегрального показателя качества пользовательского приложения, которое определяется на основе свертки контролируемых значений квалиметрических и экспертно оцениваемых параметров и индикаторов. Показан процесс ранжирования значений параметров оценочных показателей на основе построения диаграммы Парето. Выполнена юзабилити-оценка пользовательских приложений с использованием разработанного метода, позволившая определить качественные характеристики исследуемого программного продукта и сравнить его как по отдельным параметрам, так и по комплексному показателю с аналогичными программными продуктами конкурентов. Отмечена перспективность применения разработанной методики юзабилити-исследования для оценки качества пользовательских приложений и определения перечня рекомендаций для корректировки для улучшения программного продукта.

Ключевые слова: юзабилити, пользовательский интерфейс, интерфейс приложения, программный продукт, качество программ

USABILITY RESEARCH OF USER APPLICATIONS: TASKS, CRITERIA, EVALUATION METHODS

¹Tarkhov S.V., ²Tarkhova L.M.¹Ufa State Aviation Technical University, Ufa, e-mail: tarkhov@inbox.ru;²Bashkir State Agrarian University, Ufa, e-mail: tarkhova@inbox.ru

The tasks of conducting usability research of user applications are considered, the list of which is determined in accordance with domestic and international standards in the field of software engineering, which establish requirements for the design and evaluation of the quality of ergonomic interfaces of human-machine interaction. A usability research method for user applications has been developed, which allows assessing their quality level according to selected parameters and criteria. The Ishikawa diagram is used as a basic tool for analyzing cause-and-effect relationships in the usability study of user applications and constructing a structural diagram of evaluation criteria. The usability evaluation method of user applications provides for the use of a matrix method for processing the hierarchical structure of evaluation indicators imported from the Ishikawa diagram construction tools. Calculations are performed by means of spreadsheets. A mathematical model for calculating the integral quality indicator of a user application is presented, which is determined based on the convolution of controlled values of qualimetric and expert-evaluated parameters and indicators. The process of ranking the values of the parameters of the estimated indicators based on the construction of the Pareto diagram is shown. The usability assessment of user applications was performed using the developed method, which made it possible to determine the qualitative characteristics of the software product under study and compare it both by individual parameters and by a complex indicator with similar software products of competitors. The prospects of using the developed usability research methodology to assess the quality of user applications and determine the list of recommendations for adjustments to improve the software product are noted.

Keywords: usability, user interface, application interface, software product, software quality

Для успешного продвижения пользовательских приложений на рынке программного обеспечения они не только в полной мере должны реализовывать заложенный в них функционал решения задач с высокой степенью эффективности, но и быть дружелюбными к пользователю. Интерфейс

пользовательских приложений должен быть информативным, интуитивно понятным, устойчивым к возможным неверным действиям пользователя, пригодным для индивидуализации за счет настроек рабочей среды [1].

Удобство и простота использования программного продукта, или юзабилити

(от англ. usability – удобство использования), является неотъемлемым требованием эргономики взаимодействия человек – система при разработке принципов организации диалога [2], проектировании пользовательских интерфейсов сети Интернет [3] и человеко-ориентированном проектировании интерактивных систем [4].

Высокий уровень юзабилити – это неперемное условие качества и, следовательно, конкурентоспособности программного продукта [5]. Проведение юзабилити-исследования проводится на завершающем этапе процесса проектирования программного продукта и является его неотъемлемой частью. Результаты юзабилити-исследования позволяют сделать заключение о степени соответствия параметров разработанного программного продукта требованиям и при необходимости принять решение о внесении изменений в схему его работы/функционирования и интерфейс. Юзабилити-исследование целесообразно продолжить на этапе жизненного цикла, включающего эксплуатацию программного продукта для возможного последующего внесения изменений и исправлений, с целью совершенствования его возможностей и качественных характеристик [6].

Цель исследования – повышение качества пользовательских приложений с использованием метода юзабилити-исследования, основанного на структурировании данных и анализе причинно-следственных связей при оценке уровня качества приложений.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являются программные продукты, представляющие собой пользовательские приложения различного функционального назначения, предназначенные для решения различных производственных и повседневных задач. Предмет исследования – информационный процесс определения ключевых параметров, характеризующих уровень юзабилити пользовательских приложений. Основой для определения параметров и критериев юзабилити пользовательских приложений в данном исследовании являются российские и международные стандарты (ГОСТ Р ИСО [2–4] и ГОСТ Р ИСО/МЭК [5, 7]), устанавливающие требования к качеству программного обеспечения в целом и к человеко-машинному взаимодействию на уровне создания программного интерфейса в частности. Задачами юзабилити-исследования является определение значений квалитетических и экспертно оцениваемых параметров, призванных оценить ключевые характеристики программного продукта.

Результаты исследования и их обсуждение

В соответствии со стандартами [2–5, 7] к основным ключевым характеристикам пользовательских приложений с точки зрения их юзабилити относятся:

А) Функциональная пригодность:

- пригодность для выполнения решения задачи – обеспечение решения поставленной задачи и при необходимости помощь пользователю в решении задачи;

- контролируемость и управляемость – возможность контролировать направление и темп взаимодействия до того момента, пока поставленная задача не решена;

- устойчивость к ошибкам – предполагаемый результат может быть достигнут с минимальными воздействиями пользователя посредством: контроля ошибок, исправления ошибок, управления обработкой ошибок для их исправления.

Б) Удобство использования:

- соответствие ожиданиям пользователей – предсказуемость действий в зависимости от области применения и обычно принимаемым соглашениям;

- информативность – на всех этапах решения задачи пользователю должно быть понятно, какие действия и как могут быть выполнены;

- пригодность для обучения – интерфейс должен помогать решать задачу, по возможности не прибегая к изучению инструкции;

- пригодность для индивидуализации – возможность настройки и адаптации для удовлетворения индивидуальных возможностей и потребностей.

Юзабилити-тестирование целесообразно проводить как в ходе проектирования (промежуточное тестирование), так и после завершения разработки программного продукта (полное тестирование). Тестирующими могут быть как профессиональные эксперты, в том числе из команды разработчиков, так и пользователи из целевой аудитории [8].

В качестве инструмента для анализа причинно-следственных связей, позволяющего наглядно представить возможные причины проблемы юзабилити программного продукта и оценки его качества, используем диаграмму Исикавы, также известную как диаграмма «рыбьего скелета» [9]. Сгруппировав перечисленные выше характеристики, разместим их в иерархической структуре диаграммы Исикавы для проведения юзабилити-исследования пользовательского приложения. На рис. 1 показана диаграмма Исикавы (построена в xMind) с одной полностью раскрытой (до седьмого уровня) ветвью параметров и индикаторов.

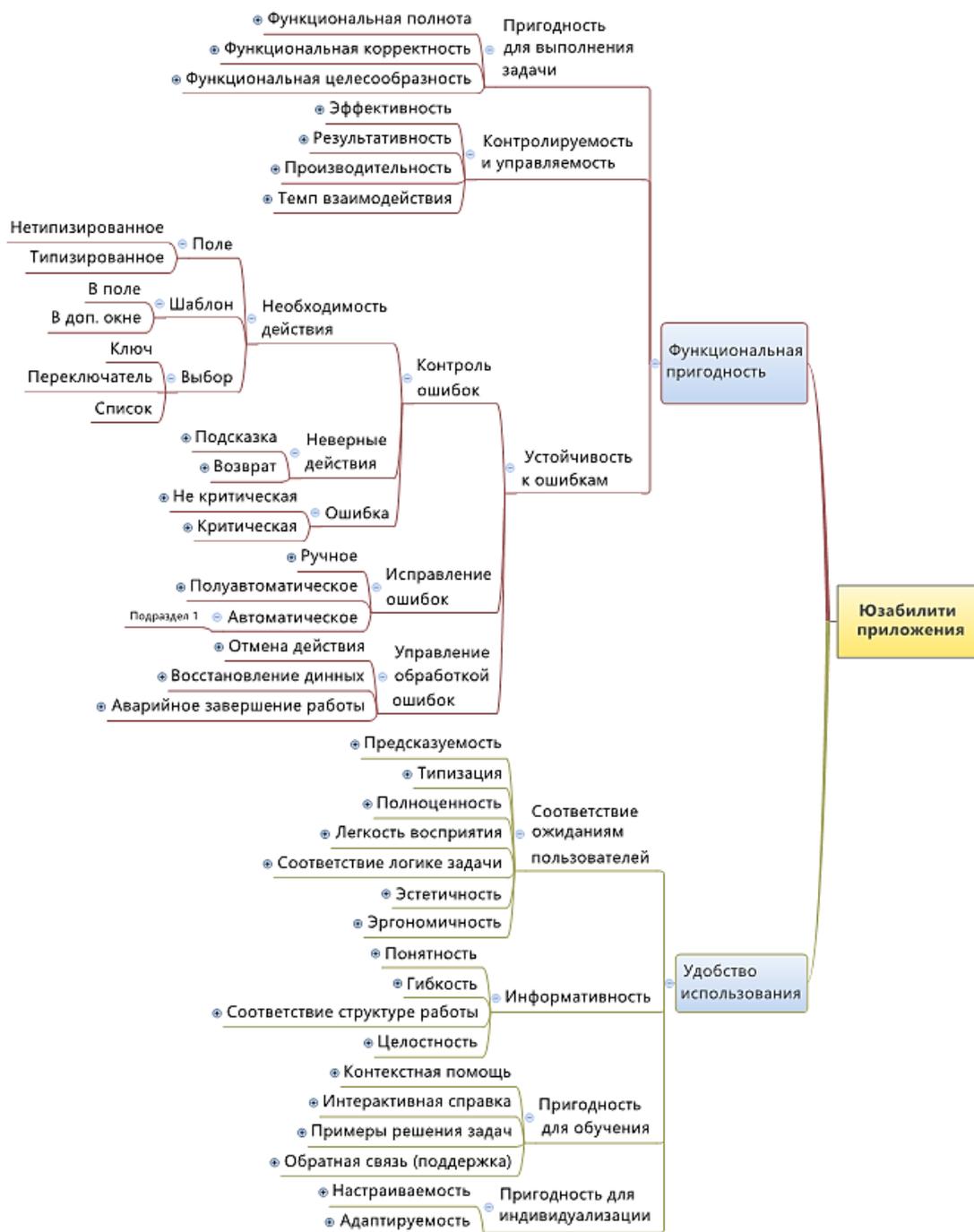


Рис. 1. Структурная диаграмма параметров юзабилити-исследования

Параметры, характеризующие юзабилити пользовательских приложений, позволяют реализовать комплексную оценку их качества, а также выполнить сравнение с приложениями конкурентов. Перечень параметров, структура оценочных показателей (контролируемых параметров и индикаторов), а также степень их значимости могут изменяться в зависимости от функционального назначения пользовательского

приложения, его сложности и требований программно-аппаратной среды. От того, насколько правильно были определены перечень критериев, структура оценочных показателей и их значимость, зависит глубина, объективность и точность проводимого юзабилити-исследования. На основе построенной для проведения юзабилити-исследования диаграммы Исикавы формируется матричная запись иерархической структуры

оценочных параметров и индикаторов, обработка которых выполняется средствами электронных таблиц. Фрагмент таблицы с установленными фильтрами для выбора показателей представлен на рис. 2.

Для преобразования значений экспертных оценочных показателей и индикаторов с целью вычисления интегрального показателя оценки юзабилити пользовательского приложения используем девятиуровневую лингвистическую шкалу с основным и дополнительными диапазонами измерений. Числовые параметры девятиуровневой лингвистической шкалы, рассчитанной на основе функции принадлежности Харрингтона, приведены в таблице.

Определим эталонное значение интегрального оценочного показателя Q^{ref} для исследуемого пользовательского приложения (максимальную возможную сумму баллов) на основе значений параметров

проектных решений, исходя из предположения, что все предусмотренные в нем функции реализованы в полном объеме и работа с приложением не вызовет у пользователей каких-либо затруднений.

$$Q^{ref} = \sum_{i=1}^K q_{x_i}^{ref} \cdot \alpha_{x_i} + \sum_{i=1}^M \mu(b_{y_i}^{ref}) \cdot \alpha_{y_i}, \quad (1)$$

где $q = \varphi(x)$ – значение оцениваемого показателя по квалиметрической (числовой) шкале, для которой функция $\varphi(x)$ тождественна измеренному значению;

$b_y^{ref} = f_L(b)$ – приведенное к оценочной шкале L эталонное значение показателя;

$\mu(y)$ – функция принадлежности для лингвистической шкалы;

α – коэффициент значимости оцениваемого показателя;

K и M – количество показателей в группах выбранных критериев.

Матрица оценочных показателей										
Показатели (параметры и индикаторы)							Тип шкалы	Весовой коэфф.	Итого: К-во: 5 Сумма: 27	Вклад показателя 5,6%
Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3	Уровень 4	Уровень 5	Уровень 6	Уровень 7				
Юзабилити пользовательского	Функциональная пригодность	Устойчивость к ошибкам	Контроль ошибок	Необходимость действия	Шаблон	В поле	Лингв. 1	2	6	1,3%
Юзабилити пользовательского	Функциональная пригодность	Устойчивость к ошибкам	Контроль ошибок	Необходимость действия	Шаблон	В доп. окне	Лингв. 1	2	6	1,3%
Юзабилити пользовательского приложения	Функциональная пригодность	Устойчивость к ошибкам	Контроль ошибок	Необходимость действия	Выбор	Ключ	Лингв. 2	1	5	1,0%
Юзабилити пользовательского приложения	Функциональная пригодность	Устойчивость к ошибкам	Контроль ошибок	Необходимость действия	Выбор	Переключатель	Лингв. 2	1	5	1,0%
Юзабилити пользовательского	Функциональная пригодность	Устойчивость к ошибкам	Контроль ошибок	Необходимость действия	Выбор	Список	Лингв. 2	1	5	1,0%

Рис. 2. Обработка оценочных показателей в электронной таблице

Девятиуровневая лингвистическая шкала

Уровни лингвистической шкалы	Значение оцениваемого показателя	Значения функции принадлежности		
Основной диапазон измерений				
1	Минимальный	0	0,2	0,00
3	Низкий	0,2	0,37	0,27
5	Средний	0,37	0,64	0,49
7	Хороший	0,64	0,8	0,72
9	Высокий	0,8	1	0,89
Дополнительный диапазон измерений				
2	Выше чем минимальный	0,2	0,29	0,24
4	Выше чем низкий	0,37	0,51	0,43
6	Выше чем средний	0,64	0,72	0,68
8	Недостаточно высокий	0,8	0,90	0,85

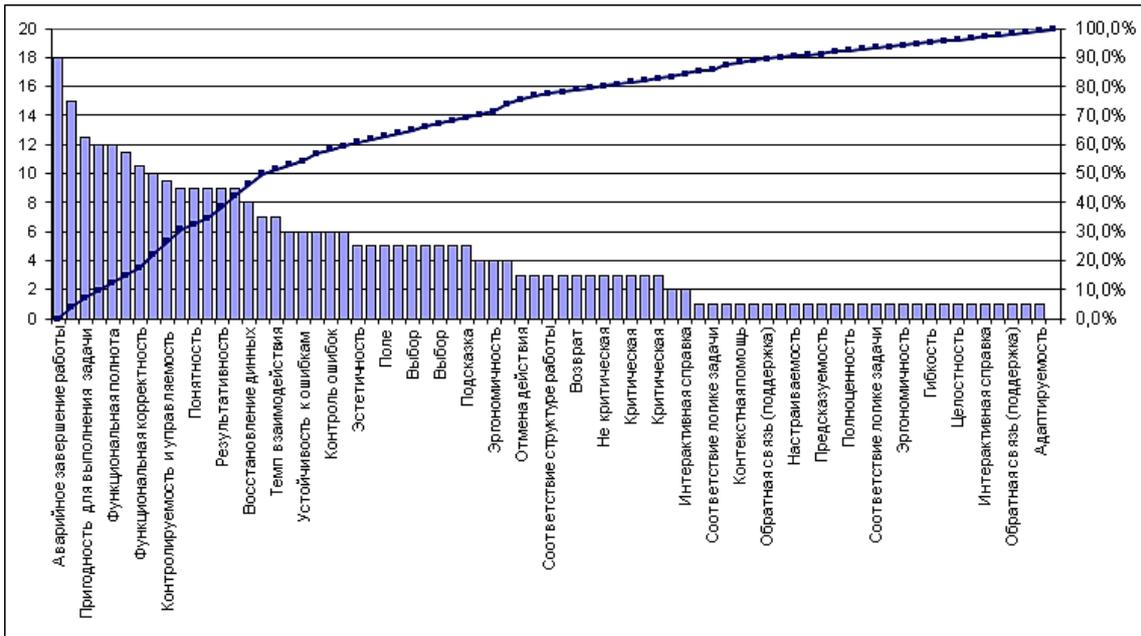


Рис. 3. Диаграмма Парето для поддержки принятия решений

Фактически при таком подходе мы исходим из того, что уровень разработки, т.е. ее качество (по ГОСТ Р ИСО 9000-2011 качество – степень соответствия совокупности присущих характеристик требованиям) составляет 100 %. В этом случае задачами юзабилити-исследования являются:

- установление степени достижения заданного уровня качества (отклонения значения интегрального оценочного показателя от его эталонного значения);
- выявление индикаторов и показателей, в наибольшей степени снижающих качество пользовательского приложения.

Фактическое значение интегрального показателя Q^{akt} для исследуемого пользовательского приложения, оцениваемого N группами экспертов, для которых в общей структуре оценочных показателей (контролируемых параметров и индикаторов) выделены группы значимых критериев, определим по формуле

$$Q^{akt} = \sum_{i=1}^N (\beta_i \sum_{j=1}^K q_{x_{i,j}}^{akt} \cdot \alpha_{x_{i,j}}) + \sum_{i=1}^M \mu(b_{y_i}^{akt}) \cdot \alpha_{y_i}, \quad (2)$$

где β – коэффициент значимости эксперта или экспертной группы (профессионалы, эксперты, бета-тестировщики и др.).

Степень достижения заданного уровня качества исследуемого пользовательского приложения, в процентах

$$\Delta\Psi = (1 - \frac{Q^{akt}}{Q^{ref}}) \cdot 100. \quad (3)$$

Для определения значимости оценочных показателей построена диаграмма Парето (рис. 3), позволяющая визуально оценить вклад показателей в общую итоговую оценку при исследовании юзабилити пользовательских приложений.

В процессе проведения юзабилити-исследования для систематического сбора данных и их упорядочивания для дальнейшей обработки использовались контрольные листки [10], позволившие регистрировать значения измеряемых параметров, а также виды несоответствия параметров и процессов установленным требованиям.

Выполнено юзабилити-исследование программ просмотра фотоизображений для ОС Windows. Юзабилити оценка пользовательских приложений позволила не только определить качественные характеристики исследуемых программных продуктов, но и сравнить их как по отдельным параметрам, так и по комплексному показателю. Разработанный метод может применяться для подготовки и проведения юзабилити-исследования с целью оценки качества программных продуктов.

Заключение

Юзабилити-исследование является значимым инструментарием оценки качества программного продукта. Оно может проводиться на этапах жизненного цикла, включающих его тестирование и отладку, а также эксплуатацию, сопровождение и поддержку. Параметры и критерии юза-

билити оценки программного продукта следует выбирать из проектного задания с ориентацией на стандарты в области качества пользовательских интерфейсов при организации диалога и эргономики человеко-машинного взаимодействия.

Разработанный метод юзабилити-исследования основан на применении инструментария анализа причинно-следственных связей при оценке качества программного продукта и позволяет реализовать итерационный процесс последовательных улучшений для увеличения степени достижения заданного уровня качества. Выполненная юзабилити-оценка пользовательских приложений с использованием разработанного метода юзабилити-исследования позволяет не только определять качественные характеристики исследуемых программных продуктов, но и сравнить их как по отдельным параметрам, так и по комплексному показателю с аналогичными программными продуктами конкурентов.

Отмечена перспективность применения разработанной методики юзабилити-исследования для оценки качества пользовательских приложений.

Список литературы

1. Соловьев С.В., Цой Р.И., Гринкруг Л.С. Технология разработки прикладного программного обеспечения. М.: Издательский дом Академии естествознания, 2011. 407 с.
2. ГОСТ Р ИСО 9241-110-2016. Эргономика взаимодействия человек – система. Часть 110. Принципы организации диалога. М.: Стандартинформ. 2016. 24 с.
3. ГОСТ Р ИСО 9241-151-2014. Эргономика взаимодействия человек – система. Ч. 151. Руководство по проектированию пользовательских интерфейсов сети Интернет. М.: Стандартинформ. 2015. 46 с.
4. ГОСТ Р ИСО 9241-210-2016. Эргономика взаимодействия человек – система. Часть 210. Человеко-ориентированное проектирование интерактивных систем. М.: Стандартинформ. 2016. 30 с.
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015. Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQuaRE). Модели качества систем и программных продуктов.
6. Тиханьчев О.В. Пользовательские интерфейсы в автоматизированных системах: проблемы разработки // Программные системы и вычислительные методы. 2019. № 2. С. 11–22. DOI: 10.7256/2454-0714.2019.2.28443 URL: https://e-notabene.ru/ppsvm/article_28443.html (дата обращения: 18.04.2022).
7. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25051-2017 Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQuaRE). Требования к качеству готового к использованию программного продукта (RUSP) и инструкции по тестированию.
8. Алан Купер об интерфейсе. Основы проектирования взаимодействия. Пер. с англ. СПб.: Символ'Плюс, 2009. 688 с.
9. ГОСТ Р ИСО 13053-2-2015. Статистические методы. Количественные методы улучшения процессов «ШЕСТЬ СИГМ». Часть. Методы. Стандартинформ. 2016. 43 с.
10. Пономарев С.В., Соседов Г.А., Мищенко Е.С., Панорядов В.М., Гребенникова Н.М., Дивин А.Г., Дивина Д.А., Жилкин В.М., Сенкевич А.Ю., Шишкина Г.В. Управление качеством процессов и продукции. В 3-х кн. Кн. 2: Инструменты и методы менеджмента качества процессов в производственной, коммерческой и образовательной сферах. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. 212 с.

СТАТЬИ

УДК 621.937.02

**К ВОПРОСУ О СОЗДАНИИ
САМОУСТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ МЕХАНИЗМОВ
В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Гудимова Л.Н., Макаров А.В., Баклушина И.С.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
Новокузнецк, e-mail: lyu-gudiova@yandex.ru*

Шарнирные рычажные механизмы применяются в металлургическом производстве с момента зарождения производства металлов, однако не потеряли своей актуальности и по настоящее время. Достаточно отметить, что более 50% всех механизмов, входящих в состав машин и агрегатов, как вспомогательных, так и основных металлургических производств, составляют рычажные шарнирные механизмы. Такие механизмы работают в условиях высоких динамических и случайных нагрузок, температур, перегрузок, что существенно снижает эффективность их работы, надежность, долговечность и увеличивает изнашиваемость деталей в местах соединений. Одним из перспективных направлений по усовершенствованию и созданию механизмов является применение структур без избыточных связей, способных адаптироваться к тяжелым условиям работы. В данной работе предложена методика создания самоустанавливающейся структуры рычажного механизма летучих ножниц, широко используемых в сортовых, мелкосортных и крупносортных прокатных станах, созданных на основе четырехзвенного шарнирного механизма. Такой рациональный механизм ножниц позволит снизить энергетические затраты, повысить коэффициент полезного действия и уменьшить износ соприкасающихся деталей. Предлагаемый метод создания рационального механизма основан на адресной замене шарниров кинематическими парами более высоких классов, в частности парами третьего и четвертого класса, увеличивающими подвижность в местах соединений и способными исключить дополнительную деформацию деталей при сборке механизма.

Ключевые слова: избыточные связи, механизм для резки металла, подвижность кинематической цепи, кинематические пары высших классов, механизм нулевого семейства

**ON THE CREATION OF SELF-ALIGNING MECHANISMS
IN METALLURGICAL PRODUCTION**

Gudimova L.N., Makarov A.V., Baklushina I.S.

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, e-mail: lyu-gudiova@yandex.ru

Articulated lever mechanisms have been used in metallurgical production since the dawn of metal production, but have not lost their relevance to the present day. Suffice it to note the fact that over 50% of all machinery and equipment in both auxiliary and main metallurgical production facilities are articulated lever mechanisms. Such mechanisms work under conditions of high dynamic and accidental loads, temperatures, overloads that considerably reduces efficiency of their work, reliability, durability and increases wear of details in joint places. One of the perspective directions on improvement and creation of mechanisms is application of structures without redundant bonds, capable to adapt to heavy conditions of work. This paper proposes a methodology for creation of self-aligning lever mechanism structure of flying shears, widely used in section, small-section and large-section rolling mills, created on the basis of four-link hinge mechanism. This rational shear mechanism, will reduce energy costs, increase efficiency and reduce wear and tear on the contacting parts. The proposed method for creating a rational mechanism is based on the targeted replacement of hinges with kinematic pairs of higher classes, in particular, pairs of the third and fourth classes, which increase mobility at the joints and help eliminate additional deformation of parts during assembly of the mechanism.

Keywords: redundant links, metal cutting mechanism, kinematic chain mobility, higher class kinematic pairs, zero-family mechanism

Большинство научных работ, связанных с научными исследованиями в области металлургической промышленности, направлены на улучшение технологии производства металла и металлопродукции [1–3]. Например, в прокатном производстве большое количество работ посвящено ресурсосберегающим технологиями, к которым относятся технология раскря, снижение брака, уменьшение отходов, качество торцов проката и др. [4, 5]. Безусловно, решаемые вопросы являются необходимыми научными направлениями для развития металлургии в целом, однако не менее актуальным в современных условиях является направление

создания механизмов и машин нового поколения, способных адаптироваться к изменяющимся динамическим нагрузкам, температурным деформациям, уменьшающим зависимость от точности изготовления, обработки деталей и монтажа машин. Решение этой сложной проблемы в настоящее время основано в основном на комплексном подходе, включая изучение физических процессов [6], подборе оптимальных конструкторских параметров, увеличении степени точности изготовления деталей, применение демпфирующих устройств и т.п.

Несомненно, такой подход способствует улучшению работы шарнирных механизмов

мов, но не исключает наличие избыточных связей, которые возникают в результате имеющегося дефицита подвижности в них, так как для соединения звеньев (деталей) применяются только одноподвижные соединения (вращательные или поступательные). Такие ученые, как В.В. Добровольский, Н.И. Колчин, И.И. Артоболевский, Л.Н. Решетов с 1936 по 1972 г. указывали на то, что шарнирные механизмы, относящиеся к механизмам третьего семейства, содержат в структурах избыточные связи.

К настоящему времени ни у кого из исследователей, занимающихся вопросами изучения структур механизмов, не вызывает сомнения присутствие избыточных связей в механизмах, относящихся к первому, второму или третьему классу по классификации И.И. Артоболевского. Понимая важность вопроса по исключению этих связей, задача по созданию метода, позволяющего создавать механизмы без избыточных связей без увеличения числа звеньев в структуре механизма, оказалась не такой простой.

Единственный предложенный в 1972 г. профессором Л.Н. Решетовым метод создания рациональных механизмов не нашел широкого применения в первую очередь из-за того, что он требует использования серьезных инженерных навыков в использовании, так как метод основан на составлении структурных таблиц, при заполнении которых необходимо правильно оценивать движение не только каждого звена, но и определять возможную подвижность в каждой кинематической паре, относительно выбранной системы координат, в которой работает механизм. Кроме того, проведенный анализ показал, что многие приемы и рекомендации метода недостаточно четко разъяснены. Следовательно, разработка универсального метода, позволяющего создавать рациональные, безыбыточные по связям (самоустанавливающиеся) механизмы или исключать избыточные связи в используемых шарнирно-рычажных механизмах, остается актуальной и современной задачей.

В металлургической промышленности для резки проката широко используются ножницы различных конструкций. Основными технологическими параметрами, требующими определения, являются полезная работа и мощность резания в периоды вмятия и резания ножей. Аналитического метода решения задачи по определению этих параметров до настоящего времени не существует. Расчет проводится на основании полученных экспериментальных коэффициентов вмятия и надреза. Учитывая, что подобные машины относятся к шарнирно-рычажным механизмам, которые

по классификации И.И. Артоболевского являются механическими системами третьего семейства (плоскими), содержащими избыточные связи, то задача определения технологических параметров становится еще более проблематичной. С научной точки зрения современного анализа работы таких механизмов необходимо также учитывать и мощность на преодоление вредных сил сопротивления, в связи с присутствием избыточных связей. Поэтому на практике для приводов механизмов применяют электродвигатели с мощностью на 20–30% больше полученной при теоретических расчетах. Устранение избыточных связей в плоских механизмах без увеличения числа звеньев (деталей) является одной из актуальных задач современного машиностроения.

Материалы и методы исследования

Отметим, что по существующей классификации механизмов, предложенной академиком И.И. Артоболевским, механизмы, в которых отсутствуют избыточные связи, относятся к механизмам нулевого семейства ($m = 0$). В работе показано применение разработанной методики исключения избыточных связей [7] на примере кинематической схемы кривошипно-рычажных летучих ножниц, который основан на адресной замене шарниров кинематическими парами более высоких классов. Для многозвенных механизмов он содержит пять последовательных этапов решения. На первом этапе определяются общие структурные решения для рассматриваемой кинематической схемы механизма внутри нулевого семейства. На втором этапе механизм декомпозируется на основные контуры и дополняющие их фрагменты. На третьем – по установленным зависимостям находятся решения в каждом выделенном контуре и фрагменте; на четвертом, на базе найденных решений на третьем этапе, определяются комплексные решения, которые сравниваются с решениями первого этапа. На пятом этапе на основании составленной системы уравнений, включающей решения механизма нулевого семейства, основных контуров и фрагментов, адресно определяется расположение всех кинематических пар в структуре механизма. Отметим, что чем сложнее механизм, тем более вдумчиво необходимо подходить к вопросу декомпозиции механизма на контуры и фрагменты, учитывая, что избыточные связи должны отсутствовать как в механизме целом, так и в каждом из его контуров. Число контуров определяется формулой Х.И. Гохмана $r = p - n$, где p – число кинематических пар (соединений), n – число подвижных звеньев (деталей).

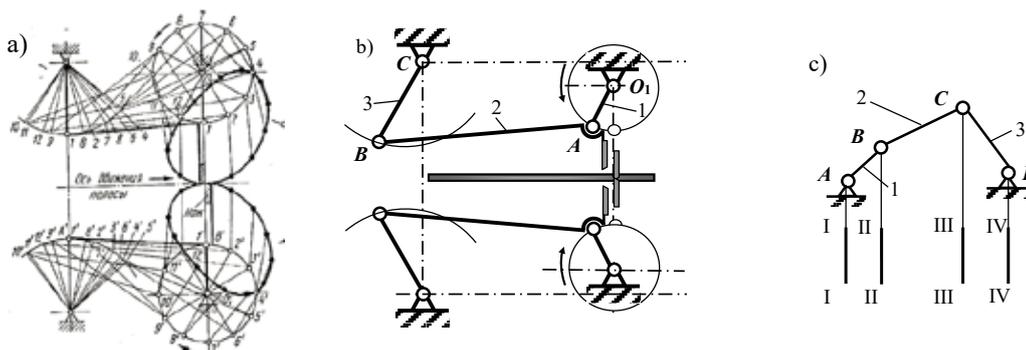


Рис. 1. Схема перемещения ножей летучих ножниц (а), структурная схема кривошипно-рычажных ножниц (b), кинематическая схема четырехзвенного шарнирного механизма (с)

Широкое применение кривошипно-рычажных летучих ножниц в металлургии обусловлено тем, что ножи при работе механизма двигаются по сложной эллипсоидной траектории (рис. 1, а), а на участке резания эта траектория практически совпадает с горизонтальным движением листа или полосы, обеспечивая более ровную и вертикальную плоскость среза.

Кинематическая схема летучих ножниц (рис. 1, b) создана на основе четырехзвенного шарнирного рычажного механизма (рис. 1, с), звенья в котором соединены шарнирами, т.е. кинематическими парами пятого класса p_5 , позволяющими только одно вращательное движение. По классификации И.И. Артоболевского такие механизмы относятся к механизмам третьего семейства ($m = 3$) и в них неизбежно присутствуют избыточные связи.

Наличие избыточности связей в структурах простых механизмов, которые входят в состав сложной машины, требует использования дополнительной энергии на преодоление вредных сил сопротивления, а в многозвенных механических системах избыточные связи приводят к тому, что энергетические затраты становятся соизмеримыми с затратами на полезное сопротивление, определяющее функциональное назначение машины.

Покажем возникновение избыточных связей на примере четырехзвенного шарнирного механизма. Физическая сущность избыточных связей, как установлено в научной школе ФГБОУ ВО «СибГИУ» «Теория структуры механических систем и практика ее использования при синтезе сложных машин, включая горные и металлургические», заключается прежде всего в определении их понятия, т.е. *избыточными связями* в механических системах сле-

дует называть такие связи, которые возникают в кинематических парах в результате принужденной сборки, когда числа звеньев и кинематических пар не соответствуют самоуставливающейся системе.

Результаты исследования и их обсуждение

Для того чтобы в шарнирном четырехзвенном механизме отсутствовали избыточные связи, все его звенья должны двигаться в строго параллельных плоскостях. Очевидным требованием в этом случае является обязательная параллельность геометрических осей шарниров A (I – I), B (II – II), C (III – III) и D (IV – IV). Осуществить сборку механизма, выполнив это условие, практически невозможно, так как после изготовления звеньев (деталей) механизма, собрать их так, чтобы оси шарниров были параллельны друг другу, проблематично. Легко обеспечить плоское соединение звеньев 1 и 3 с опорами A и D . Не представляет труда соединить звенья 1 и 2 в шарнир B (рис. 2, а), но гарантировать, что стойка и соединяемые звенья 1 и 2 окажутся в одной плоскости, уже нельзя, а потому соединить звенья 2 и 3 в шарнир C неизбежно составит трудность.

Произвести это соединение можно только с принуждением, но тогда механизм нельзя назвать плоской системой, так как звенья в этом случае будут дополнительно нагружены изгибающими моментами (рис. 2, b и с). Для того чтобы осуществить передачу движения от звена к звену, необходимо преодолеть вредное сопротивление возникающих моментов, что потребует дополнительных энергетических затрат.

В работе [7] получена зависимость, определяющая число избыточных связей в механизмах любого семейства:

$$q = m \cdot r. \tag{1}$$

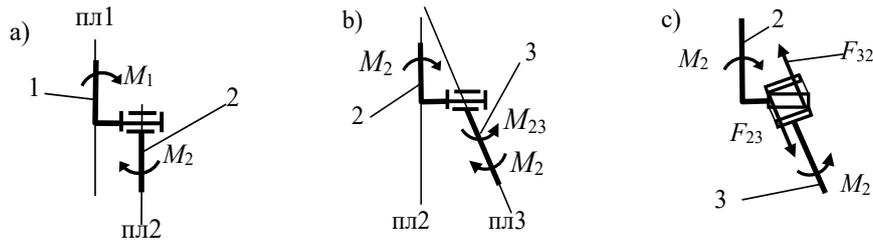


Рис. 2. Плоский шарнир (а), избыточность связи (b, с)

В механизме кривошипно-рычажных ножиц $p = 4$, $n = 3$, $m = 3$ и число избыточных связей по (1) $q = 3$. Это простой, одноконтурный механизм и исключение избыточных связей можно провести по более простой методике, подробно описанной в [7]. Достаточно рассмотреть систему, в которой первое уравнение описывает механизм как плоский, а второе – как пространственный

$$\begin{cases} \sum_{k=5}^1 p_k = \frac{3n - W}{2}, \\ \sum_{k=5}^1 k \cdot p_k = 6n - W, \end{cases} \quad (2)$$

где W – подвижность механизма, k – класс кинематических пар ($k = 5, 4, 3, 2, 1$), n – число звеньев цепи.

Решая систему уравнений (2) при условии, что $k = 5, 4, 3$, т.е. пары p_1 и p_2 не используются, в силу сложности их практической реализации, получаем зависимости, определяющие числа кинематических пар третьего и четвертого классов

в зависимости от числа возможных пар пятого класса

$$\begin{cases} p_4 = \frac{3n + W}{2} - 2p_5, \\ p_3 = p_5 - W, \end{cases} \quad (3)$$

подставляя в (3) значения $W = 1$, $n = 3$, и получим

$$\begin{cases} p_4 = 5 - 2p_5, \\ p_3 = p_5 - 1. \end{cases} \quad (3.1)$$

Очевидно, что система (3.1) имеет только два варианта целочисленных и положительных решений:

1. $p_5 = 2, p_4 = 1, p_3 = 1$,
2. $p_5 = 1, p_4 = 3, p_3 = 0$.

Отметим, что предпочтительным для практики является первый вариант решения (рис. 3, а), так как, во-первых, замене подлежат только два шарнира из четырех, а во-вторых, создать конструкцию кинематических пар третьего и четвертого классов не представляет трудности.

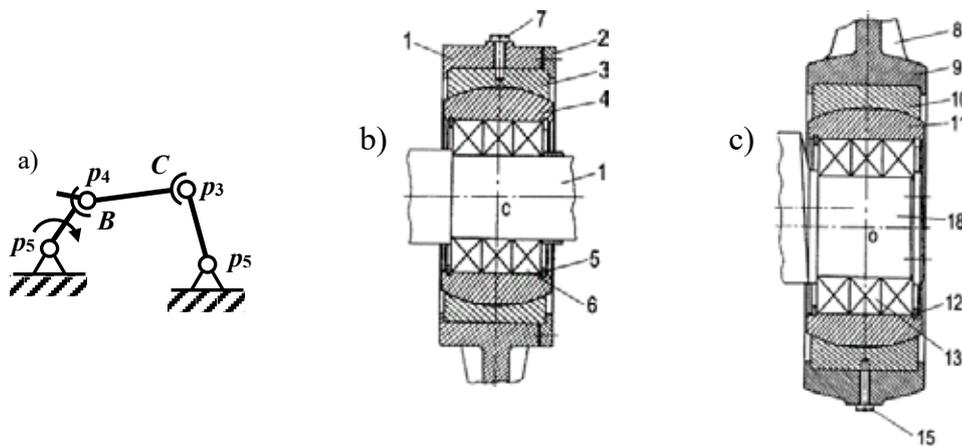


Рис. 3. Структурная схема самоустанавливающегося четырехзвенного механизма с условным изображением кинематических пар (а), конструкция кинематической пары p_3 (b), конструкция кинематической пары p_4 (с)

Одним из авторов настоящей статьи получен патент на изобретение, в котором предложена конструкция самоустанавливающегося шатуна. Верхняя головка самоустанавливающегося шатуна 1 (рис. 3, б) может быть установлена на месте шарнира B , соединяющего его с рычагами BC (серьгами), а нижняя головка 9 с кривошипами O_1A (рис. 3, с). При движении шатун передает нагрузку, направленную вдоль осей O и C (рис. 3, б и с) стержня 8. Величина допускаемой нагрузки определяется установленными в головках 1 и 9 подшипниками 6 и 13.

Использование трех подшипников качения, вместо обычно одного самоустанавливающегося, позволяет довести нагрузку до $200 \cdot 10^3$ кгс, применив серийные подшипники, например, серии 92000. Коэффициент полезного действия подшипников качения 6 и 13 в каждой головке шатуна составляет 99% или на весь шатун $\eta = 0,98$.

Заключение

Конструкция предлагаемого шатуна не только существенно увеличивает нагрузочную способность кривошипно-рычажного механизма летучих ножниц в целом, но и позволит создать механизм без избыточных связей. Нижняя головка шатуна, соединенная с кривошипом, в предлагаемой конструкции, имеет две подвижности, т.е. представляет кинематическую пару четвертого класса (p_4), а верхняя головка шатуна, которая соединена с серьгами, имеет три возможных движения и относится к паре третьего класса (p_3), именно это дает возможность исключить дефицит подвижности и собрать звенья между собой в данном механизме без натягов, значит, исключить

возникновение дополнительных изгибающих моментов на звенья.

Для доказательства отсутствия избыточных связей в предлагаемой структуре механизма ножниц, воспользуемся зависимостью, полученной в [7]

$$q = 5p_5 + 4p_4 + 3p_3 + 2p_2 + p_1 - (6n - W) = \\ = 5 \cdot 2 + 4 \cdot 1 + 3 \cdot 1 - (6 \cdot 3 - 1) = 0.$$

Разработанная методика позволяет без увеличения числа подвижных звеньев в шарнирно-рычажных механизмах путем адресных замен шарниров на кинематические пары более высоких классов, создавать механизмы безыбыточные по связям.

Список литературы

1. Кушнарев А.В., Шведов К.Н., Беспмятных А.Ю., Ильиных Р.А. Совершенствование технологии производства железнодорожных колес в АО «ЕВРАЗ НТМК» // Сталь. 2020. № 6. С. 47–49.
2. Кожевников А.В., Юсупов В.С. Методика проектирования технологии холодной прокатки, исключаяющей вибрации на станах // Сталь. 2021. № 5. С. 21–24.
3. Shvarts D.L. Rolling of rail profiles in a universal groove. Steel in Translation. 2015. Part 2. Vol. 45. No. 7. P. 499–502.
4. Jamnik M., Gemo L., Partyka A., Miani S., Rahm C. Iron & Steel Techn. 15. 2018. No 1. P. 42–49.
5. Guojie Zhang, Yinghui Sun, Ying Xu. Review of briquette binders and briquetting mechanism. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 82. No 1. P. 477–487.
6. Захаренков Н.В., Квасов И.Н. Исследование прочности пространственного механизма с прерывистым движением в приводе поворотного устройства // Метрология, стандартизация, качество: теория и практика: материалы Международной научно-технической конференции (Омск, 14–16 ноября 2017 г.). Омск, 2017. С. 107–111.
7. Гудимова Л.Н., Дворников Л.Т. Основы теории избыточности связей в механизмах. Новокузнецк: ООО «Полиграфист», 2018. 174 с.

УДК 658.5

**УПРАВЛЕНИЕ УГЛЕРОДНЫМ СЛЕДОМ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
В ЭКОНОМИКЕ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА****Кудрявцева С.С., Халиулин Р.А., Какаджанов В.М.***ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,
Казань, e-mail: sveta516@yandex.ru, rav.haliulin@yandex.ru, tacmuhammet.88@mail.ru*

Актуальность статьи обусловлена тем, что проблематика достижения углеродной нейтральности в настоящее время остается одной из ключевых тем для дискуссии в мировом и российском научном сообществе, а также в сфере предпринимательства, находясь под пристальным вниманием органов государственной власти на всех уровнях управления. Цель статьи состоит в изучении трендов углеродного следа в промышленных секторах экономики исходя из соотношения объемов образованных и утилизированных отходов производства, что имеет большое значение при анализе процессов ресурсосбережения при переходе к экономике замкнутого цикла. Показано, что в промышленном комплексе наблюдается устойчивая тенденция роста выбросов парниковых газов, наибольшую долю из которых занимают выбросы, связанные с отходами промышленности. Выявлено, что увеличивается разрыв между объемами образованных и ликвидированных отходов производства, что затрудняет переход к экономике замкнутого цикла и достижение углеродной нейтральности. По результатам кластерного анализа установлено, что наибольшие объемы образованных и ликвидированных отходов характерны для добычи угля и металлических руд, наименьшие – для производства пищевой продукции, бумаги, мебели и др., однако для последних видов промышленного производства характерно многократное превышение количества образованных отходов производства по сравнению с объемами ликвидированных отходов в отличие от добывающего сектора, что указывает на низкую устойчивость данных секторов в вопросах достижения углеродной нейтральности при переходе к экономике замкнутого цикла. Результаты и выводы, полученные в ходе исследования, могут быть в дальнейшем расширены, углублены и сведены в единую методику оценки углеродной нейтральности секторов промышленности при переходе к экономике замкнутого цикла.

Ключевые слова: углеродный след, углеродная нейтральность, экономика замкнутого цикла, промышленность, выбросы парниковых газов, образование и ликвидация отходов производства

**MANAGING THE CARBON FOOTPRINT OF INDUSTRY
IN A CIRCULAR ECONOMY****Kudryavtseva S.S., Khaliulin R.A., Kakadzhanov V.M.***Kazan National Research Technological University, Kazan,
e-mail: sveta516@yandex.ru, rav.haliulin@yandex.ru, tacmuhammet.88@mail.ru*

The relevance of the article is due to the fact that the issue of achieving carbon neutrality currently remains one of the key topics for discussion in the global and Russian scientific community, as well as in the field of entrepreneurship, being under the close attention of government authorities at all levels of government. The purpose of the article is to study trends in the carbon footprint in industrial sectors of the economy based on the ratio of the volumes of generated and recycled production waste, which is important in the analysis of resource saving processes in the transition to a circular economy. It is shown that in the industrial complex there is a steady upward trend in greenhouse gas emissions, the largest share of which is occupied by emissions associated with industrial waste. It was revealed that the gap between the volumes of generated and eliminated production waste is increasing, which makes it difficult to move to a circular economy and achieve carbon neutrality. Based on the results of the cluster analysis, it was found that the largest volumes of generated and liquidated waste are typical for the extraction of coal and metal ores, the smallest – for the production of food products, paper, furniture, etc. with volumes of liquidated waste, in contrast to the extractive sector, which indicates the low sustainability of these sectors in terms of achieving carbon neutrality in the transition to a circular economy. The results and conclusions obtained during the study can be further expanded, deepened and consolidated into a single methodology for assessing the carbon neutrality of industrial sectors in the transition to a circular economy.

Keywords: carbon footprint, carbon neutrality, circular economy, industry, greenhouse gas emissions, waste generation and disposal

Проблематика достижения углеродной нейтральности в настоящее время остается одной из ключевых тем для дискуссии в мировом и российском научном сообществе, а также в сфере предпринимательства, находясь под пристальным вниманием органов государственной власти на всех уровнях управления. Углеродный след, вопросы его оценки, анализа требуют разработки единых подходов и методик как на уровне отдельных промышленных предприятий, так и на уровне отраслей и промышленных комплексов.

Вопросы углеродного следа имеют различные аспекты изучения, например, с позиции перспектив экономического развития [1], достижения устойчивого эколого-экономического развития [2], трансграничного регулирования углеродных выбросов [3], проблемы энергетического перехода [4] и т.п. Экономика замкнутого цикла, ее принципы, инструменты и технологии также являются объектами анализа многочисленных исследований, в частности индикаторы эффективности ресурсосберегающих систем производства [5],

интеллектуализация экономического роста в новых макроэкономических реалиях [6], экологические инновации в промышленности [7] и т.п. Однако в настоящее время назревает острая потребность в систематизации научных подходов к оценке углеродного следа отдельных предприятий и отраслей промышленности при переходе к экономике замкнутого цикла, актуальность и востребованность которой нарастает ежегодно.

Цель статьи состоит в изучении трендов углеродного следа в промышленных секторах экономики исходя из соотношения объемов образованных и утилизированных отходов производства, что имеет большое значение при анализе процессов ресурсосбережения при переходе к экономике замкнутого цикла. Цель статьи позволила сформулировать следующие задачи исследования:

- проанализировать динамику выбросов парниковых газов, связанных с отходами производства;
- провести в динамике анализ соотношения объемов образования и утилизации отходов производства;
- кластеризовать промышленные виды экономической деятельности по объему образования и утилизации отходов производства в соотношении с объемами отгруженной продукции.

Материалы и методы исследования

При изучении трендов углеродного следа в промышленных секторах экономики исходя из соотношения объемов образованных и утилизированных отходов производства, применялись следующие методы исследования. Метод описания позволил проанализировать динамику выбросов парниковых газов, связанных с отходами производства. Метод сопоставления дал возможность сравнить объемы образования и утилизации отходов производства в динамике. Метод Data Mining применен для разделения промышленных секторов экономики на кластеры в зависимости от величины углеродного следа, представленного через соотношение объема образования и утилизации отходов производства с объемами отгруженной продукции. В основе метода Data Mining использован кластерный анализ на базе EM-алгоритма. Для оценки достоверности кластеризации применен дисперсионный анализ и теория вероятности. Метод описательной статистики позволил проанализировать средние, максимальные, минимальные значения, дисперсии и стандартное отклонение внутри динамических рядов по рассматриваемым индикаторам, а также между кластерами.

Объектами исследования послужили промышленные виды экономической дея-

тельности и их подотрасли: добыча полезных ископаемых, обрабатывающие производства, энергетика и водоснабжение.

Информационной базой исследования послужили данные официальной статистики, опубликованные на сайте Росстата [8]. Агрегация показателей проводилась за период 2010–2020 гг. Инструментом анализа применен прикладной пакет Statistica 12.0.

Результаты исследования и их обсуждение

В вопросах управления отходами, перехода к рециклингу ресурсов производства следует указать на тот факт, что захоронение твердых отходов имеет наиболее высокое влияние на выбросы парниковых газов в атмосферу, на их долю в 2020 г. приходилось 72,8% от общих выбросов парниковых газов, связанных с отходами, далее располагались выбросы, связанные с очисткой жидких отходов и стоков – 27,2%. К сожалению, отмечается устойчивая тенденция роста выбросов парниковых газов, связанных с отходами, которые увеличились с 69,45 млн т CO_2 -эквивалента в 2010 г. до 100,15 млн т CO_2 -эквивалента в 2020 г., прирост составил 44,2% (рис. 1). Судя по уравнению регрессии для данного показателя можно заключить, что ежегодно прирост выбросов парниковых газов, связанных с отходами, составлял 2,75 млн т CO_2 -эквивалента.

Негативным фактом является также то, что объемы образованных отходов производства превышают объемы их утилизации и обезвреживания. По итогам 2020 г. соотношение между ними составило 2 раза (рис. 2).

В вопросах управления углеродным следом в экономике замкнутого цикла принципиально важным представляется оценить соотношение образованных и утилизированных промышленных отходов в расчете на рубль отгруженной продукции, чтоб проводить анализ не только по абсолютным, но и по относительным значениям, для нивелирования различий. Расчеты проведены по укрупненным видам экономической деятельности по промышленным секторам. Далее, используя Data Mining, была проведена кластеризация отраслей промышленности по уровню образования и утилизации отходов производства в расчете на рубль отгруженной продукции на основе EM-алгоритма. В результате анализа отрасли промышленности были разделены на три кластера. К первому кластеру были отнесены виды экономической деятельности, имеющие наибольшие значения образованных и утилизированных отходов производства в расчете на рубль отгруженной продукции: добыча угля и добыча металлических руд (табл. 1).

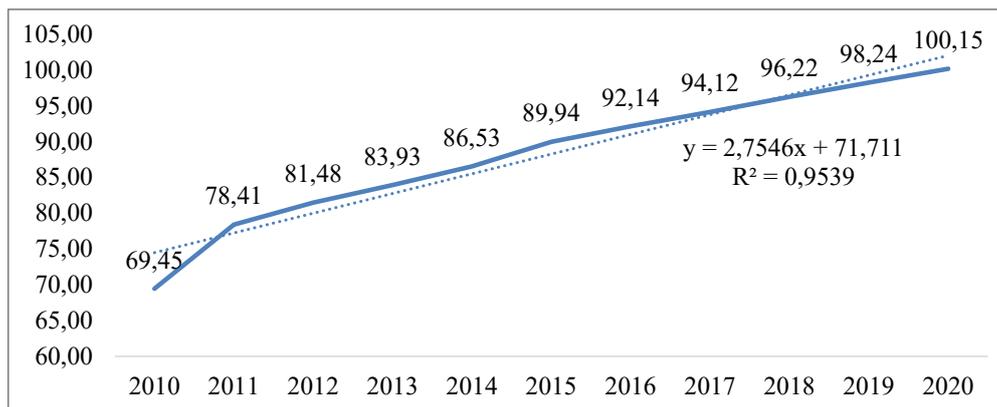


Рис. 1. Динамика выбросов парниковых газов, связанных с отходами производства (млн т CO₂-эквивалента в год)



Рис. 2. Динамика образования и утилизации отходов производства (млн т)

При этом соотношение данных показателей составило в добыче угля 2 раза, в добыче металлических руд – 2,1 раза. В целом в данном кластере среднее значение образованных отходов в расчете на рубль отгруженной продукции составило 1390,8 тыс. т на тыс. руб.; утилизированных – 673,6.

Во втором кластере представлено 6 видов экономической деятельности: производство текстильных изделий, химических веществ, металлургия, водоснабжение, пищевая промышленность и добыча прочих полезных ископаемых. Во втором кластере среднее значение образованных отходов в расчете на рубль отгруженной продукции составило 119 тыс. т на тыс. руб.; утилизированных – 29,3. Примечательным является то, что в видах промышленных производств, представленных в данном кластере, соотношение между абсолютными значениями образования и утилизации промышленных отходов составило

3,1 раза, что выше, чем в видах деятельности, представленных в первом кластере.

Третий кластер был самым многочисленным, в него вошли 23 вида экономической деятельности, отнесенные к промышленности: производство табака, кожи, бумаги, лекарств, резины, мебели и другие. В третьем кластере среднее значение образованных отходов в расчете на рубль отгруженной продукции составило 1,6 тыс. т на тыс. руб.; утилизированных – 0,8. В видах деятельности промышленного производства соотношение между абсолютными значениями образования и утилизации промышленных отходов было наибольшим и составляло 8,5 раза.

Описательные статистики для кластеров промышленных видов экономической деятельности, характеризующие величину углеродного следа в экономике замкнутого цикла, наглядно представлены в табл. 2.

Таблица 1

Итоги кластерного анализа по показателям,
характеризующим углеродный след промышленности

	Кластер	Образование отходов (тыс. т на тыс. руб. отгруженной продукции)	Утилизация отходов (тыс. т на тыс. руб. отгруженной продукции)	Вероятность попадания в кластер
добыча угля	1	1845,3	886,3	1,00
добыча сырой нефти и природного газа	3	0,5	0,2	1,00
добыча металлических руд	1	936,3	460,8	1,00
добыча прочих полезных ископаемых	2	543,6	101,3	0,98
предоставление услуг в области добычи полезных ископаемых	3	1,1	0,3	1,00
производство пищевых продуктов	2	20,7	13,5	1,00
производство напитков	3	2,7	1,0	1,00
производство табачных изделий	3	0,3	0,0	1,00
производство текстильных изделий	2	121,1	16,0	1,00
производство одежды	3	5,6	0,2	1,00
производство кожи и изделий из кожи	3	5,6	1,5	1,00
обработка древесины	3	5,9	4,5	0,95
производство бумаги и бумажных изделий	3	3,9	3,8	1,00
деятельность полиграфическая	3	0,4	0,0	1,00
производство кокса и нефтепродуктов	3	0,1	0,0	1,00
производство химических веществ	2	10,8	5,2	1,00
производство лекарственных средств	3	0,1	0,2	1,00
производство резиновых и пластмассовых изделий	3	0,2	2,0	1,00
производство прочей неметаллической минеральной продукции	3	4,1	3,1	1,00
производство металлургическое	2	13,0	6,3	1,00
производство готовых металлических изделий	3	0,3	0,2	1,00
производство компьютеров	3	0,2	0,1	1,00
производство электрического оборудования	3	0,2	0,0	1,00
производство машин и оборудования	3	0,4	0,0	1,00
производство автотранспортных средств	3	0,5	0,2	1,00
производство прочих транспортных средств	3	0,5	0,1	1,00
производство мебели	3	0,4	0,1	1,00
производство прочих готовых изделий	3	0,2	0,2	1,00
ремонт и монтаж машин и оборудования	3	0,1	0,0	1,00
обеспечение электрической энергией	3	2,8	0,2	1,00
водоснабжение	2	5,0	33,4	1,00

Таблица 2

Описательные статистики для кластеров промышленных видов экономической деятельности, характеризующие величину углеродного следа

Описательные статистики	Образование			
	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3	В целом
Min	936,3	5,0	0,1	0,1
Max	1845,3	543,6	5,9	1845,3
Среднее значение	1390,8	119,0	1,6	113,9
Станд. отклонение	642,8	212,5	2,0	373,7
	Утилизация			
Min	460,8	5,2	0,0	0,0
Max	886,3	101,3	4,5	886,3
Среднее значение	673,6	29,3	0,8	49,7
Станд. отклонение	300,9	36,7	1,3	176,4

Таблица 3

Дисперсионный анализ кластеризации
(тыс. т отходов на тыс. руб. отгруженной продукции)

Показатель	Межгрупп. дисперсия	Число степеней свободы	Внутригрупп. дисперсия	Число степеней свободы	F-критерий (критерий Фишера)	p-значение
Образование	3551342	2	639106,4	28	77,7942	0,000000
Утилизация	835944	2	97335,3	28	120,2360	0,000000

Достоверность кластеризации подтверждается результатами дисперсионного анализа, который показал наличие статистически значимых различий в дисперсиях по образованию и утилизации отходов производства в расчете на рубль отгруженной промышленной продукции между кластерами, о чем свидетельствует Р-значение, которое было менее 0,05 (табл. 3).

Таким образом, была проведена кластеризация промышленных видов экономической деятельности по величине углеродного следа исходя из соотношения объема образованных и утилизированных отходов в расчете на рубль отгруженной продукции. С одной стороны, добывающие отрасли, характеризующиеся большими объемами отходов производства, имеют и высокие значения по утилизации отходов производства; с другой стороны, те сектора промышленности, где отходы производства были незначительными по сравнению с добывающим сектором, имели более высокие соотношения количества образованных и обезвреженных отходов производства, что указывает на низкую углеродную устойчивость этих промышленных отраслей.

Выводы

Таким образом, по результатам проведенного исследования следует обобщить следующие выводы.

1) в промышленном комплексе наблюдается устойчивая тенденция роста выбросов парниковых газов, наибольшую долю из которых занимают выбросы, связанные с отходами промышленности;

2) увеличивается разрыв между объемами образованных и ликвидированных отходов производства, что затрудняет переход к экономике замкнутого цикла и достижение углеродной нейтральности;

3) по результатам кластерного анализа установлено, что наибольшие объемы образованных и ликвидированных отходов характерны для добычи угля и металлических руд, наименьшие – для производства пищевой продукции, бумаги, мебели и др., однако для последних видов промышленного производства характерно многократное превышение количества образованных отходов производства по сравнению с объемами ликвидированных отходов в отличие от добывающего сектора, что указывает на низкую устойчивость данных секторов

в вопросах достижения углеродной нейтральности при переходе к экономике замкнутого цикла.

Результаты и выводы, полученные в ходе исследования, могут быть в дальнейшем расширены, углублены и сведены в единую методику оценки углеродной нейтральности секторов промышленности при переходе к экономике замкнутого цикла.

Исследование выполнено в рамках гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ РФ № НШ-1886.2022.2.

Список литературы

1. Харитоновна Н.А., Харитоновна Е.Н., Пуляева В.Н. Углеродный след России: реалии и перспективы экономического развития // Экономика промышленности. 2021. Т. 14. № 1. С. 50–62.
2. Свищева Е.Г., Белгородский В.С., Генералова А.В., Седяров О.И. Предпосылки устойчивого эколого-экономического развития легкой промышленности России // Дизайн и технологии. 2016. № 54 (96). С. 92–98.
3. Невская А.А., Баронина Ю.А. Трансграничное углеродное регулирование: новый контекст отношений России и ЕС // Современная Европа. 2021. № 6 (106). С. 63–74.
4. Жаворонкова Н.Г., Агафонов В.Б. Роль национального климатического закона в обеспечении «энергетического перехода» // Актуальные проблемы российского права. 2022. Т. 17. № 2 (135). С. 151–162.
5. Shinkevich A.I., Barsegyan N.V., Dyrdonova A.N., Fomin N.Yu. Key directions of automation of petro-chemical production // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Т. 1515. С. 022016.
6. Кудрявцева С.С. Экономический рост и интеллектуальный капитал: институциональные аспекты взаимосвязи // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 6. С. 222–226.
7. Кудрявцева С.С., Халиулин Р.А. Экологические инновации в промышленности: территориальные особенности применения // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 9. С. 74–80.
8. Росстат [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 15.05.2022).

УДК 621

ЩЕЛОЧНОЙ ЭЛЕКТРОЛИЗ ВОДЫ ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

Кулешов В.Н., Кулешов Н.В., Курочкин С.В., Гаврилюк А.А., Тютрина С.В.

ФГБОУВО «Национальный исследовательский университет

Московский энергетический институт», Москва, e-mail: KuleshovNV@mpei.ru

В последние несколько лет идёт активный рост генерирующих мощностей на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). При этом практически все виды ВИЭ, интегрированные в автономные системы энергоснабжения различных групп потребителей, обладают одним и тем же недостатком – несогласованностью графика подвода и потребления электрической энергии. Одним из путей решения данной проблемы может служить накопление энергии в электрохимических системах, разновидностью которой является водородный цикл накопления энергии. Ключевым элементом данного способа запасания энергии, путём преобразования электрической энергии в химическую, является электролизёр воды. Отечественная промышленность уже долгое время использует щелочные электролизёры воды для своих нужд. Однако в последнее время доля отечественных щелочных электролизёров воды существенно сократилась, уступив место иностранным поставщикам данного вида оборудования. Причиной тому служит устаревшая элементная база щелочных электролизных батарей, состоящая из электродов с довольно низкой каталитической активностью и диафрагмой на основе хризотилового асбеста. Всё это вызывает чрезмерно высокое удельное энергопотребление для получения водорода при недостаточной чистоте генерируемых электролизных газов. В данной статье предложен метод получения современных электродов с высокой каталитической активностью, способных снизить перенапряжение выделения водорода и кислорода. В качестве основы использована никелевая сетка, а на её поверхность электроосаждены частички Ni-Co порошка, дополнительно модифицированные фосфором. В качестве альтернативы старым диафрагменным материалам предложены диафрагмы на основе полисульфона, где гидрофильным наполнителем выступает диоксид титана или циркония. А также представлен метод заполнения полимерной матрицы диафрагмы гидрогелем $ZrO_x(OH)_{2-x}$. Полученные образцы диафрагм показали повышенную стойкость к кроссоверу газов между электродными камерами при сохранении высоких значений удельной электропроводности. На основе предложенной элементной базы была протестирована электролизная ячейка при повышенных давлениях в диапазоне от 1 до 60 бар. Полученные значения напряжений позволили достичь показателей удельного расхода электрической энергии в 4,3 кВт·час/нм³ водорода. Дальнейшие разработки в данной области позволят снизить зависимость в поставках щелочных электролизёров воды от иностранных производителей.

Ключевые слова: щелочной электролиз воды, катализаторы анодного выделения кислорода и катодного выделения водорода, полимерная диафрагма

WATER ALKALINE ELECTROLYSIS FOR ELECTROCHEMICAL ENERGY STORAGE SYSTEMS

Kuleshov N.V., Kuleshov V.N., Kurochkin S.V., Gavrilyuk A.A., Tyutrina S.V.

National Research University Moscow Power Engineering Institute, Moscow,

e-mail: KuleshovNV@mpei.ru

In the past few years, there has been an active growth in generating capacities based on renewable energy sources (RES). At the same time, almost all types of renewable energy sources integrated into autonomous power supply systems for various consumer groups have one and the same drawback – inconsistency in the schedule for the supply and consumption of electrical energy. One of the ways to solve this problem can be energy storage in electrochemical systems, a variation of which is the hydrogen energy storage cycle. The key element of this method of energy storage, by converting electrical energy into chemical energy, is a water electrolyzer. The domestic industry has been using alkaline water electrolyzers for its own needs for a long time. However, recently the share of domestic alkaline water electrolyzers has significantly decreased, giving way to foreign suppliers of this type of equipment. The reason for this is the outdated element base of alkaline electrolysis batteries, consisting of electrodes with a rather low catalytic activity and a diaphragm based on chrysotile asbestos. All this causes an excessively high specific energy consumption for hydrogen production with insufficient purity of the generated electrolysis gases. This article proposes a method for obtaining modern electrodes with high catalytic activity, capable of reducing the overvoltage of hydrogen and oxygen evolution. A nickel grid was used as a base, and particles of Ni-Co powder, additionally modified with phosphorus, were electrodeposited on its surface. As an alternative to the old diaphragm materials, diaphragms based on polysulfone are proposed, where titanium dioxide or zirconium acts as a hydrophilic filler. A method for filling the polymeric matrix of the diaphragm with $ZrO_x(OH)_{2-x}$ hydrogel is also presented. The resulting samples of diaphragms showed increased resistance to gas crossover between the electrode chambers while maintaining high values of electrical conductivity. Based on the proposed element base, the electrolysis cell was tested at elevated pressures in the range from 1 to 60 bar. The obtained voltage values made it possible to achieve indicators of specific electrical energy consumption of 4.3 kWh/nm³ of hydrogen. Further developments in this area will reduce the dependence in the supply of alkaline water electrolyzers from foreign manufacturers.

Keywords: water alkaline electrolysis, HER and OER catalysts, polymer diaphragm

Система аккумулирования энергии на базе водородных электрохимических технологий включает: электролизер воды, генерирующий чистый водород и кислород в периоды избытка электроэнергии; баллоны высокого давления и/или металлгидридные системы для накопления и хранения генерируемых газов; топливные элементы для выработки электроэнергии в периоды недостатка электроэнергии. Модульность конструкции электролизеров и топливных элементов и доступность систем хранения различного объема позволяют создавать системы аккумулирования энергии, предназначенные для работы с возобновляемыми источниками энергии любых типов и мощностей [1].

Низкотемпературные электролизеры воды по типу электролита делятся на традиционные водно-щелочные (ВЩЭ) и электролизеры с твердым полимерным электролитом (ТПЭ). С начала 1990-х гг. большое количество научно-исследовательских, инженерных и технологических работ были посвящены электролизу воды с твердополимерным электролитом, в качестве которого используется протонпроводящая мембрана Nafion. Однако подавляющее большинство высокопроизводительных электролизеров в настоящее время – это электролизеры с щелочным электролитом.

Технология ВЩЭ хорошо известна и отработана с 1950–1980-х гг. К достоинствам ВЩЭ можно отнести отсутствие металлов платиновой группы в составе катализаторов, более низкую стоимость диафрагменных материалов, по сравнению с протонпроводящими мембранами Nafion, а также возможность холодного запуска при отрицательных температурах. Эти преимущества определили «второе рождение» щелочного электролиза, о чем свидетельствует резкий рост числа публикаций в научной и патентной литературе [2].

Основными задачами для дальнейшего совершенствования щелочных электролизеров применительно к системам хранения энергии на базе водородных технологий являются: снижение энергопотребления электролизных модулей, которое может быть достигнуто разработкой новых высокоэффективных электрокатализаторов и диафрагменных (мембранных) материалов; создание отечественных диафрагменных (мембранных) материалов; повышение рабочего давления, что позволяет снизить стоимость запасаемой энергии путем снижения энергопотребления электролизера и отказа от дожимающих компрессоров.

Материалы и методы исследования

В данной работе проведено исследование разработанных с помощью двухмерной

технологии электрохимического формирования электродов. Данная технология позволяет изготавливать электроды любой конфигурации, варьировать их толщину от 0,2 до 4 мм, изменять размер и геометрию ячеек электрода. Стоимость получаемых электродов в несколько раз меньше, по сравнению с плетеными никелевыми сетками или электродами, изготавливаемыми с помощью лазерной резки.

Для увеличения электрохимически активной поверхности электрода, на его поверхности формировали пористое никель-кобальтовое покрытие. Для этого синтезировали субмикронный порошок Ni-Co термическим разложением смешанного формиата никеля и кобальта в среде 1,4-бутандиола. Формирование пористого покрытия электрода проводили в гальванической ванне из электролита, содержащего равные мольные количества сульфатов и хлоридов никеля и кобальта, борную кислоту для поддержания pH и суспензию субмикронного никель-кобальтового порошка, с никелевыми и кобальтовыми анодами.

Никель-кобальтовые электроды с пористым Ni-Co покрытием дополнительно модифицировали катализаторами катодных (Ni-Co-P_x) и анодных (NiCo₂O₄) процессов. Катализатор (Ni-Co-P_x) наносили химическим восстановлением никеля-кобальта фосфора из раствора хлоридов никеля и кобальта гипофосфитом натрия. Катализатор (NiCo₂O₄) наносили термическим разложением спиртового раствора Ni(NO₃)₂ и Co(NO₃)₂, взятых в молярном соотношении 1:2. Подробно методики формирования пористого Ni-Co покрытия на поверхности сетчатого никелевого электрода, его модифицирования катализаторами, а также результаты исследования структуры, пористости и состава электродов приведены в более ранних статьях [3, 4]. Получение тафелевских кривых производили с помощью трёхэлектродной ячейки, где в качестве электрода сравнения был использован окисно-ртутный электрод. А в качестве вспомогательного выступал платиновый электрод. Для измерений был использован потенциостат Ellins P-40X.

Ещё одним недостатком ВЩЭ, ограничивающим его работу при минимальной и максимальной выработке электрической энергии первичным источником, связаны с пористой структурой диафрагменного материала. При малых плотностях тока (до 100 мА/см²) формируются мелкие пузырьки газов, способные проникать через диафрагму. При высоких плотностях тока (более 500–700 мА/см²) вероятность проникновения пузырьков газа через диа-

фрагму возрастает по причине высокой загазованности электролита. С пористой структурой диафрагменного материала связаны ограничения и по максимальному рабочему давлению, поскольку при его возрастании (80 атм и выше) увеличивается растворимость газов в электролите и снижается чистота генерируемых электролизных газов.

В последние годы появился ряд публикаций, посвященных анионообменным мембранам для ВЩЭ [5]. Однако в их структуре ионогенными группами являются амины, амиды, имиды и их комбинации. Данный тип анионообменных материалов хорошо зарекомендовал себя в процессах водочистки, но их химическая стабильность и ресурс в условиях щелочного электролиза остаются под вопросом [6].

В настоящей работе исследованы два типа диафрагм для ВЩЭ. Диафрагма 1 – близкий аналог промышленно выпускаемых диафрагм ZirfonPearl (Agfa) [7], наиболее проверенные в условиях щелочного электролиза пористые полимерные диафрагмы с добавлением гидрофильного наполнителя диоксида титана (TiO_2) или циркония (ZrO_2), синтезируемые методом фазовой инверсии. Методика синтеза данного типа диафрагм описана в статье [8].

При проведении данных исследований было синтезировано несколько образцов диафрагм из щелочестойких полимерных материалов. Для диафрагмы 1 масса TiO_2 составляла 70 %, для ZirfonPearl масса ZrO_2 составляет порядка 85 % от массы готовой диафрагмы. В качестве альтернативы, была предложена диафрагма 2, поры которой заполнены гидрогелем гидроксида циркония. Для получения данного типа диафрагм полисульфон ПСФ-150 растворяли в апротонном растворителе (тетрагидрофуран) и наносили на сетчатую подложку. Коагуляционную ванну заполняли раствором оксихлорида циркония ZrOCl_2 в этиловом спирте. В коагуляционной ванне происходит фазовая инверсия, формирование пористой полимерной матрицы и заполнение пор раствором оксихлорида циркония. Пропитанную таким образом полимерную матрицу кипятили в 6 М растворе КОН. При этом происходит вымывание этилового спирта, гидролиз оксихлорида циркония и заполнение пор диафрагмы гидрогелем $\text{ZrO}_x(\text{OH})_{2-x}$.

На заключительном этапе исследований проводились комплексные испытания щелочной электролизной ячейки при фиксированной температуре, но различных давлениях. Для снятия вольт-амперной характеристики ячейка тестировалась при различных плотностях тока, от 50 до 1000 mA/cm^2 . Термостатирование электролита производили

с помощью термостата ELMITW-2, нагревая электролит до 90 °С. При этом проблема повышения давления может быть решена заменой одного высокопроизводительного электролизного модуля несколькими, помещенными в разгрузочные корпуса, что позволяет достичь давления до 100–200 атм при той же суммарной производительности, либо серией электролизных ячеек коаксиальной конструкции (300 атм в перспективе до 700 атм) [9]. Помимо повышения давления данное решение позволяет значительно понизить минимальный порог мощности ВЩЭ не только за счет снижения плотности тока, но и ступенчатым отключением отдельных модулей.

Результаты исследования и их обсуждение

Сопоставление поляризационных кривых катализаторов катодного выделения водорода (рис. 1, а) показывает, что плетеная никелевая сетка (кривая 1) и разработанный Ni-Co электрод (кривая 2) имеют схожую активность и механизм реакции не изменяется. Использование Ni-Co электрода с пористым Ni-Co покрытием (кривая 3) позволяет снизить перенапряжение выделения водорода на 20 мВ при 300 mA/cm^2 , а дополнительное модифицирование катализатором Ni-Co-P_x еще на 10 мВ по сравнению с Ni-Co электродом без покрытия. В процессах выделения кислорода Ni-Co электрод имеет большую активность по сравнению с плетеной никелевой сеткой (кривые 1 и 2 на рис. 1, б). Изменение угла наклона кривой может свидетельствовать об изменении механизма реакции. Электроды с пористым Ni-Co покрытием позволяют снизить перенапряжение выделения кислорода на 100–110 мВ при 300 mA/cm^2 (кривая 3 на рис. 1, б) по сравнению с Ni-Co электродом без покрытия, а дополнительное модифицирование никель-кобальтовой шпилью (NiCo_2O_4) еще на 10–15 мВ.

Результаты исследований пористости, удельной электропроводности и газоплотности диафрагм (по методу «точки пузырька» «Bubble point pressure») приведены в таблице. Для сравнения приведены характеристики диафрагм ZirfonPearl. Суммарную пористость и максимальный радиус пор диафрагмы 2 не удалось исследовать методом контактно-эталонной порометрии, поскольку он не позволяет различать воду, свободно заполняющую диафрагму, от воды, связанной в глобулы гидрогеля. Для косвенной оценки использовали результаты исследования диафрагмы без гидрофильного наполнителя, скоагулированной в этиловом спирте.

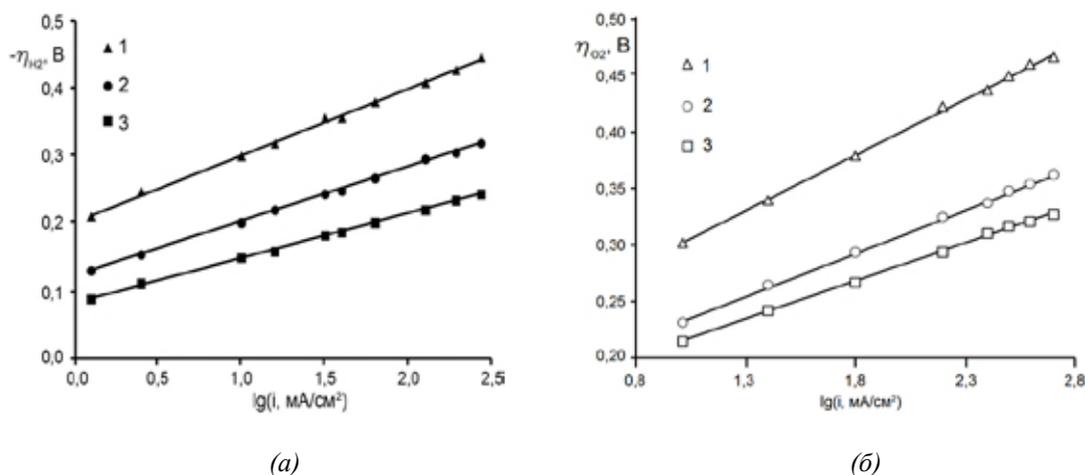


Рис. 1. Поляризационные кривые катализаторов: а – реакция выделения водорода (1 – плетеная никелевая сетка; 2 – Ni-Co электрод без покрытия; 3 – Ni-Co электрод с пористым Ni-Co покрытием; 4 – Ni-Co электрод с пористым Ni-Co покрытием, модифицированным Ni-Co-P_x; б – реакция выделения кислорода (1 – плетеная никелевая сетка; 2 – Ni-Co электрод без покрытия; 3 – Ni-Co электрод с пористым Ni-Co покрытием, модифицированным NiCo₂O₄

Характеристики диафрагменных материалов для ВЦЭ

Диафрагма	П, см ³ /см ³	Макс. радиус пор, нм	Уд. электропроводность, 6М КОН, 80 °С, κ, Ом ⁻¹ см ⁻¹	«Точка пузырька», атм
Диафрагма 1. Гидрофильный наполнитель – TiO ₂ , 70 %.	0,38	70	0,270	3,8
Диафрагма 1. Без гидрофильного наполнителя	0,18	30	–	4,8
Диафрагма 2. Гидрофильный наполнитель – гидрогель ZrO _x (OH) _{2-x}	–	–	0,220	6,1
ZirfonPearl. Гидрофильный наполнитель – ZrO ₂ , 85%.	0,50	130	0,292	2,5

Из таблицы можно сделать вывод, что диафрагма 1 (TiO₂) и ZirfonPearl (ZrO₂) обладают бипористой структурой, в которой перенос электролита возможен как по порам полимерной матрицы, так и между частицами гидрофильного наполнителя. Удельная электропроводность диафрагмы 1 меньше, чем ZirfonPearl, но газоплотность выше, что может быть объяснено меньшим количеством гидрофильного наполнителя. Суммарная пористость и максимальный радиус пор полимерной матрицы без гидрофильного наполнителя, полученной коагуляцией в этиловом спирте в 2 раза ниже, чем диафрагмы 1. Диафрагма 2 характеризуется наименьшей удельной электропроводностью, поскольку отсутствует (или крайне затруднен) свободный транспорт электролита по порам. Учитывая, что гидроксиды циркония обладают амфотерными свойствами, можно предпо-

ложить, что перенос заряда осуществляется за счет миграции гидроксил-ионов между глобулами гидрогеля, то есть электропроводность может быть обусловлена анионным обменом. Преимуществом диафрагмы 2 является высокая газоплотность, что открывает широкие перспективы для ее использования в ВЦЭ, используемых в водородном цикле накопления энергии.

В настоящей работе для исследования вольтамперных характеристик электролизной ячейки использовали разгрузочный корпус, рассчитанный на давления до 160 атм. Исследования проводили для электролизной ячейки с рабочим диаметром электродов 70 мм при температуре 90 °С, и давлениях от 1 до 60 атм. Выравнивание давления внутри и снаружи электролизной батареи производили, подавая внутрь разгрузочного корпуса генерируемый водород.

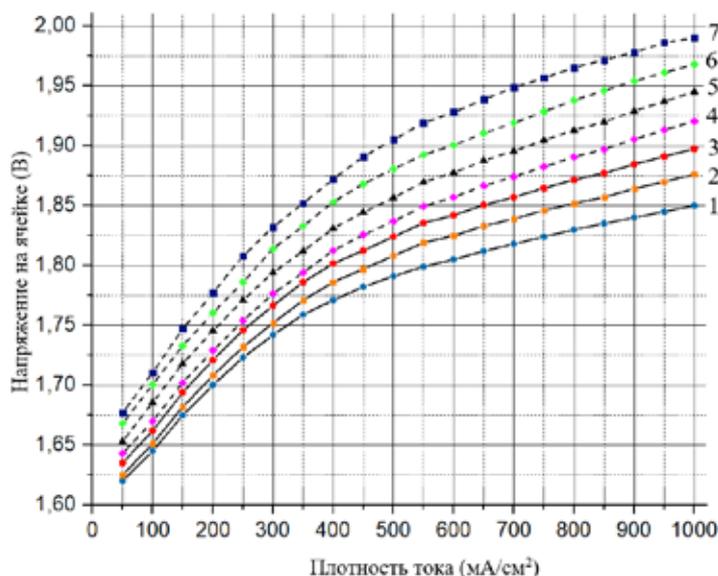


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика испытываемой щелочной электролизной ячейки при различных давлениях: 1 – 30 атм; 2 – 20 атм; 3 – 10 атм; 4 – 1 атм; 5 – 40 атм; 6 – 50 атм; 7 – 60 атм

Для поддержания давления внутри исследуемой электролизной ячейки использовались регулировочные клапаны, установленные на кислородный и водородный контур соответственно. Рост давления внутри электродных камер проходил постепенно, без резких скачков давления – чтобы избежать повреждения полотна диафрагмы. Известно, что водород и кислород обладают разными коэффициентами сжимаемости, и объём генерируемого кислорода будет в два раза меньше водорода, в связи с чем рост давления в анодном и катодном контурах будет идти неравномерно. Для компенсации влияния данного негативного фактора глубина анодной камеры электролизной ячейки была сделана в два раза меньше относительно водородной камеры. Сравнение ВАХ (рис. 2) показывает, что для обоих типов диафрагм при повышении давления от 1 до 30 атм напряжение на батарее снижается, что можно объяснить процессом деполяризации электродов, а также существенным снижением газонаполнения электролита. При возрастании давления от 30 до 60 бар напряжение повышается, что соответствует термодинамическим расчетам.

Заключение

В работе приведены результаты исследований, позволяющих создать новый высокоэффективный ВЦЭ для перспективных автономных энергосистем, в том

числе и с водородным циклом накопления энергии. Описаны методы формирования подложки электродов заданной двухмерной геометрии и химического состава, способы развития электрохимически активной поверхности и дополнительного модифицирования катализаторами катодных и анодных процессов. Приведена новая методика синтеза полимерных диафрагм для ВЦЭ. Несмотря на более низкую удельную электропроводность, новый тип диафрагм в перспективе позволяет значительно повысить чистоту генерируемых газов. Предложен ряд конструктивных решений, позволяющих создать электролизный модуль высокого давления (100–300 атм). Исследованы вольтамперные характеристики электролизной ячейки с новыми электродами и диафрагменными материалами. Сумма приведенных данных позволяет устранить недостатки промышленных ВЦЭ и повысить энергоэффективность гибридных энергетических систем на основе возобновляемых источников энергии.

Исследования проведены в рамках Программы научных исследований ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» ПНИ 20/22-0000028/32 «Энергетика, II очередь», секция 5 «Водородная энергетика». Проект «Высокоэффективный электролизер с системой хранения генерируемых газов для энергоустановок на базе возобновляемых источников с водородным циклом накопления энергии».

Список литературы

1. Kafetzis A., Ziogou C., Panopoulos K.D., Papadopoulou S., Seferlis P., Voutetakis S. Energy management strategies based on hybrid automata for islanded microgrids with renewable sources, batteries and hydrogen. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020. Vol. 134. P. 110–118.
2. Oystein Ulleberg, Torgeir Nakken, Arnaud Ete. The wind/hydrogen demonstration system at Utsira in Norway: Evaluation of system performance using operational data and updated hydrogen energy system modeling tools. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2010. Vol. 35. P. 1841–1852.
3. Kuleshov N.V., Kuleshov V.N., Dovbysh S.A., Grigorev S.A., Kurochkin S.V., Millet P. Development and performances of a 0.5 kW high – pressure alkaline water electrolyser. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2019. Vol. 44. I. 56. P. 29441–29449.
4. Kuleshov V.N., Kuleshov N.V., Kurochkin S.V. High Efficiency Electrodes for Alkaline Electrolysis of Water. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2020. Vol. 93. No. 8. P. 1146–1151.
5. Vincent I., Bessarabov D. Low cost hydrogen production by anion exchange membrane electrolysis: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 81. P. 1690–1704.
6. Sun Young Kang., Ji Eun Park., Ga Young Jang., Ok-Hee Kim., Oh Joong Kwon., Yong-Hun Cho., Yung-Eun Sung. High-performance and durable water electrolysis using a highly conductive and stable anion-exchange membrane. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022. Vol. 47. I. 15. P. 9115–9126.
7. Agfa Gevaert Group 2022 [Электронный ресурс] URL: <https://www.agfa.com/specialty-products/solutions/membranes/separator-membranes-for-alkaline-electrolysis/> (дата обращения: 26.04.2022).
8. Grigoriev S.A., Fateev V.N., Bessarabov D.G., Millet P. Current status, research trends, and challenges in water electrolysis science and technology. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2020. Vol. 45. I. 49. P. 26036–26058.
9. Nelson Kelly A., Thomas Gibson L., David Ouwkerk B. Generation of high-pressure hydrogen for fuel cell electric vehicles using photovoltaic-powered water electrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2011. Vol. 36. I. 24. P. 15803–15825.

УДК 519.872:004

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ДИСПЕТЧЕРА С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОЧЕРЕДЬЮ ЗАДАЧ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Мартышкин А.И.

*ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»,
Пенза, e-mail: Alexey314@yandex.ru*

Современные архитектуры реконфигурируемых вычислительных систем соответствуют тенденциям наращивания мощностей высокопроизводительных вычислительных систем. Применение реконфигурируемых вычислительных систем сегодня весьма актуально и перспективно для разработчиков высокопроизводительных вычислительных систем. Для обеспечения еще большей производительности реконфигурируемых вычислительных систем, возможно, имеет смысл отказаться от программной реализации функциональных узлов высокопроизводительных вычислительных систем, что как раз и обусловлено гибкостью и современными возможностями элементной базы. В статье описана идея и методы реализации диспетчера задач, а именно предложен вариант реализации модели с распределенной очередью задач. Рассмотрены модели реконфигурируемых вычислительных систем с подсистемой диспетчеризации задач. Проведен анализ основных характеристик моделей диспетчеров задач. Результаты моделирования показали, что реконфигурируемая вычислительная система, включающая диспетчеры задач с распределенными очередями, работает эффективней и быстрее, чем аналогичная система с единым диспетчером задач и глобальной очередью. Этот вывод подтверждается согласно результатам полученных исследований, представленных на графиках. По итогам проведенных исследований предложены упрощающие разработку и исследование вычислительных систем модели диспетчеров задач, построенные на базе теории массового обслуживания. Предложенные и исследуемые модели можно применять для анализа процесса диспетчеризации и назначения ресурсов внутри реконфигурируемых вычислительных систем при проектировании и построении новых структур высокопроизводительных вычислительных систем. Достоверность полученных результатов подтверждается проведенными экспериментами и сопоставлением полученных результатов с известными на текущий момент. В заключение приводятся основные выводы по проведенному исследованию.

Ключевые слова: аналитическое моделирование, диспетчер задач, имитационное моделирование, модель, планирование процессов, реконфигурируемая вычислительная система, система массового обслуживания

INVESTIGATION OF A TASK MANAGER MODEL WITH A DISTRIBUTED QUEUE OF A RECONFIGURABLE COMPUTING SYSTEM

Martyshkin A.I.

Penza State Technological University, Penza, e-mail: Alexey314@yandex.ru

Modern architectures of reconfigurable computing systems correspond to the trends of increasing the capacity of high-performance computing systems. The use of reconfigurable computing systems today is very relevant and promising for developers of high-performance computing systems. To ensure even greater performance of reconfigurable computing systems, it may make sense to abandon the software implementation of functional nodes of high-performance computing systems, which is precisely due to the flexibility and modern capabilities of the element base. The article describes the idea and methods of implementing a task manager, namely, a variant of implementing a model with a distributed task queue is proposed. Models of reconfigurable computing systems with a task dispatching subsystem are considered. The analysis of the main characteristics of the task dispatcher models is carried out. The simulation results showed that a reconfigurable computing system, including task managers with distributed queues, works more efficiently and faster than a similar system with a single task manager and a global queue. This conclusion is confirmed according to the results of the studies presented in the figures and graphs. Based on the results of the conducted research, the models of task controllers that simplify the development and research of computing systems, built on the basis of queuing theory, are proposed. The proposed and investigated models can be used to analyze the process of dispatching and assigning resources within reconfigurable computing systems when designing and building new structures of high-performance computing systems. The reliability of the results obtained is confirmed by the experiments carried out and the comparison of the results obtained with the currently known ones. At the article concludes, the conclusions of the study are presented.

Keywords: analytical modeling, task manager, simulation modeling, model, process planning, reconfigurable computing system, queuing system

На сегодняшний день методы и средства повышения производительности вычислительных систем (ВС), такие как более плотное размещение транзисторов на кристалле, увеличение числа одновременно выполняемых команд, расширение объемов кэш-памяти процессоров (ЦП), постепенно

исчерпывают свои возможности. Для того чтобы сохранить темпы роста производительности высокопроизводительных ВС (ВВС), недостаточно совершенствовать технологические решения, а также схемотехнику ЦП. В данной ситуации следует основательно рассмотреть способы пере-

стройки самой архитектуры BBC, например, представленной в виде реконфигурируемой вычислительной системы (PBC).

Синхронизация процессов в ВС с одним ЦП реализована программно в пространстве пользователя или ядра операционной системы (ОС), при этом не влияя на производительность BBC, тогда уже в PBC будет присутствовать достаточно серьезное увеличение времени выполнения при синхронизации процессов. Можно допустить, что программа, которая выполняет свои процессы в однопроцессорном и многопроцессорных режимах, имеет одинаковые затраты по времени на синхронизацию процессов. Затраты значительно могут отличаться в тот момент, когда будет наблюдаться уменьшение времени выполнения параллельных потоков. Упомянутый процесс обусловлен последовательностью связанного с синхронизацией процессов элемента программы и согласно закону Амдала [1] – это фактор, который снижает производительность PBC. Эффективное решение обозначенной проблемы – аппаратная реализация функций планирования и диспетчеризации задач, которая в значительной степени снимает проблему временных потерь при синхронизации.

Цель настоящей работы – проанализировать известные PBC и возможные способы диспетчеризации задач, а также разработать и исследовать математические модели таких систем с использованием широко применяемого аппарата теории массового обслуживания (ТМО). Описать возможности практического применения предложенных математических моделей. Достижению поставленной в работе цели способствует решение следующих задач: исследование, расчет и анализ параметров моделей диспетчеров задач (ДЗ) в составе PBC; подтверждение достоверности работы алгоритма ДЗ экспериментальным путем в режиме реального времени.

Материалы и методы исследования

К настоящему времени сложилась определенная классификация архитектур вычислительных систем, так называемая классификация по Флинну [2], которая анализирует архитектуру по способу обрабатываемых данных и взаимодействия потоков выполнения команд. К классу SISD относятся классические фон-неймановские машины. Архитектура SIMD формирует поток векторных команд, что позволяет производить арифметическую операцию над множеством данных. Векторная обработка может быть выполнена с помощью,

конвейера процессорной матрицей. Класс MISD предполагает архитектуру, в которой несколько ЦП осуществляют обработку одного и того же потока данных. Но данная архитектура так и не нашла практического применения. Широкое применение в сфере высокопроизводительных вычислений получила архитектура MIMD, на основе данной архитектуры строится большинство многопроцессорных параллельных ВС. MIMD разбивается на подклассы: мультипроцессоры и мультикомпьютеры. В свою очередь, мультипроцессоры делятся на UMA и NUMA-системы [1].

Система с общей памятью представляет собой структуру (рис. 1, а), в которой оперативная память является общей для всех ЦП. Достоинство такой архитектуры заключается в экономии времени на пересылку данных, так как эти данные, помещенные в общую память, доступны сразу всем ЦП с помощью общей шины. ЦП, имеющие одинаковый доступ к устройствам ввода-вывода и ко всем ячейкам оперативной памяти, к которой процессы обращаются единообразно и обращение происходит с одинаковым временем – такие системы называются симметричными (symmetric multiprocessor – SMP). Принцип действия подобной системы в том, что при помощи схемы приоритетов определенный ЦП получает данные из общей памяти, шина занята в течение времени передачи данных, другие ЦП отключаются от общей шины и выполняют задачи, не связанные с доступом в оперативную память.

Система с распределенной (сосредоточенной) памятью (рис. 1, б) содержит в себе множество ЦП, каждый из которых имеет свою собственную оперативную память. Чтобы организовать обмен данных между ЦП, существует канал связи, подобные системы делятся на два типа: с универсальной коммутацией, где любой ЦП может быть связан с любым другим, и с жесткой коммутацией, в которой связь определенного ЦП существует только с определенным количеством других ЦП. Достоинство данной архитектуры в эффективном решении задач, так как ЦП не требуется ожидать освобождения оперативной памяти. Архитектура NUMA обеспечивает обращение к данным при физическом распределении памяти, поэтому длительность доступа является неодинаковой для всех элементов памяти. Системы с распределенной памятью делятся еще на два типа, с локальной кэш-памятью (cache only memory architecture – COMA) ЦП и системы с когерентностью локальной кэш-памяти ЦП (cache coherent NUMA – CC-NUMA).

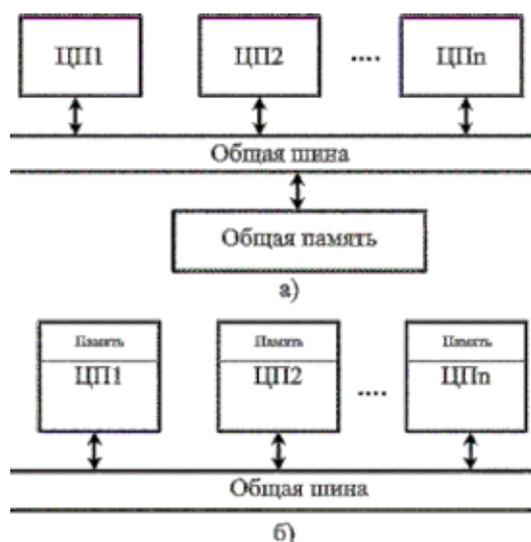


Рис. 1. Структурная схема ВС с общей (разделяемой) (а) и распределенной (б) памятью

В России известны и применяются следующие РВС – это, прежде всего, разработки ведущих научно-исследовательских институтов и крупных университетов, специализирующихся на РВС: РВС-1, РВС-0.2-РС, РУПК-50, БВР-01, КВ8-К7-410-01 «Топаз-2» и др. [3, 4]. Разработчики компании Fastwel создали вычислитель БВР-01. Устройство направлено на решение таких задач, как цифровая обработка сигналов, применение методов линейной алгебры, символьной обработки, особенности – гибкая структура и возможности объединения с подобными устройствами для создания кластерных систем. Архитектура вычислителя БВР-01 (рис. 2, а) состоит из управляющего компьютера (УК) СРС1301, 8 ПЛИС Xilinx Virtex-6, модуль памяти EM-DDR3-2GB. ПЛИС соединены между собой высокоскоростным интерфейсом PCI Express Gen 2.0, что позволяет обмен данных между УК и 8 ПЛИС на скорости до 20 Гбит/с. РВС на базе Xilinx Kintex-7 КВ8-К7-410-01 «Топаз-2» (рис. 2, б) создана в ФГУП НИИ «Квант». Разработанное устройство состоит из одной системной и восьми рабочих ПЛИС, которые соединены к коммутатору PCI Express, данный коммутатор представляет собой микросхему PEX8648 на 12 портов. Для соединения ПЛИС используются схемы «звезда» и кольцо, что обеспечивает высокоскоростной канал обмена информацией. Разработчики ООО НПО «Роста» создали РВС RC-47 (рис. 2, в), на которой установлено четыре рабочих ПЛИС Xilinx семейства Virtex-7, также на плате установлены два мезонинных модуля памяти EM4-DD, где в каждом модуле по 4 банка памяти объемом 512 Мбайт. Основные технические характе-

ристики платы следующие, сервисная ПЛИС: Xilinx Spartan-6, четыре рабочих ПЛИС: Xilinx Virtex-7 (XC7V585/1500/2000T, XC7VX330/485/690T) FF(G) 1761, все рабочие ПЛИС поддерживают PCI Express Gen2 (для серии XC7V) или Gen3 (для серии XC7VX), сеть PCI Express: одна СБИС PEX8732 коммутатора PCI Express Gen3 x4 (8 портов), микроконтроллер STM32F, обеспечивающий контроль напряжений и температур, загрузку конфигураций в системный и рабочие ПЛИС, настройку и мониторинг коммутатора PCI Express по шине I2C [4].

Диспетчеризация задач. Суть планирования и диспетчеризации процессов и задач в РВС заключается в назначении целевого ЦП для ее решения. Современные работы по планированию в операционных системах говорят о двух часто применяемых способах организации работы ДЗ: с глобальной и распределенной очередью задач [5].

Для исследования параметров ВВС применяют простой метод, основанный на различных системах массового обслуживания (СМО), – абстрактный объект, который включает в себя заявки (задачи), поступающие в систему, несколько обслуживающих каналов (приборов) заявок и накопитель, где организуется очередь из поступивших заявок, ожидающих обслуживания. СМО или базовые модели можно соотносить в соответствие со следующей классификацией: по числу классов заявок, поступающих в СМО; по количеству мест в накопителе; по количеству обслуживающих приборов. Основные параметры и характеристики СМО и построенных на их базе сетей подробно рассмотрены и описаны в работах [6].

В РВС с общей памятью программы обработки и данные, связанные с ними $P = \{P_1, \dots, P_M\}$, делятся на некоторые подмножества Q_1, \dots, Q_N , $Q_i = \{P_{\alpha}, \dots, P_{\omega}\}$ $P(i = 1, \dots, N)$, и распределяются в памяти процессора $ЦП_1, \dots, ЦП_N$. По этой причине каждый из n -процессоров обрабатывает данные с размещенными в памяти ЦП программами обслуживания. При такой ситуации можно принять процесс работы РВС как функционирование совокупности n -одноканальных СМО, причем каждая из них включает в себя некоторый поступающий с интенсивностью λ_i поток заявок, очередь O_i и обслуживающее устройство (процессор) $ЦП_i$. Для того чтобы выявить наиболее эффективный метод реализации при проектировании РВС, требуется произвести оценку потери производительности исследуемой системы. В данной работе рассмотрен алгоритм диспетчеризации с распределенной очередью.

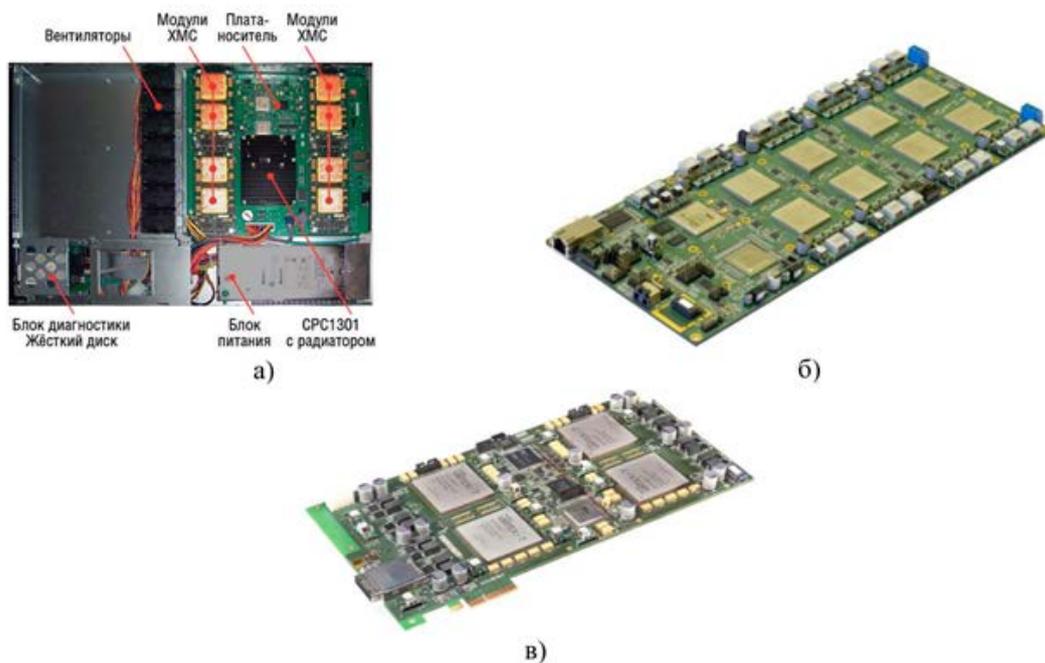


Рис. 2. БВП-01 (а); PBC KB8-K7-410-01 «Тоназ-2» (б); PBC RC-47 (в)

ДЗ с общей очередью [5] имеет один существенный недостаток в структуре организации, который понижает производительность всей PBC. Недостаток заключается в том, что возникают конфликтные ситуации при обращении к ДЗ, т.е. только определенный ЦП может обратиться к очереди задач. При этом ЦП требуется обращаться к ДЗ, чтобы получить новую заявку, последние два случая требуют дополнительных затрат по времени. Возможен еще случай, когда в PBC есть не занятые работой ЦП, но обслуживание ожидающих задач не осуществляется, поскольку ДЗ не справляется с потоком поступающих на обработку задач. Использование другого по архитектуре ДЗ с индивидуальными очередями процессоров к ЦП – один из путей разрешения проблемной ситуации.

Математическая модель ДЗ с индивидуальными очередями состоит из n -одноканальных СМО (S_1, \dots, S_m) (рис. 3, а), которые моделируют обслуживание в ДЗ и ЦП (S_1, S_2, \dots, S_m) и граф передач. Структура и принцип взаимодействия блоков модели не отличается от ДЗ с общей очередью, единственное, что PBC с n ДЗ кроме формирования очередей и назначения задач на обслуживание в ЦП согласно некоторому алгоритму осуществляет балансировку наполненности очередей, когда заявки могут с определенной вероятностью (чем более загружена очередь, тем больше вероятность извлечения задачи из нее) перемещаться из i -й очереди в менее занятую очередь j -го процессора ЦП.

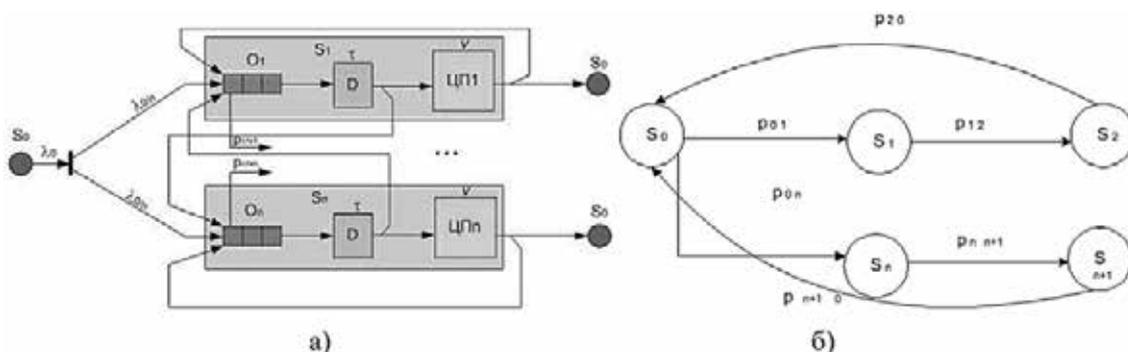


Рис. 3. Схема модели PBC с ДЗ с распределенным ДЗ (а) и ее графовая модель (б)

Параметры моделей

Трудоемкость	Интенсивность входного потока, задач/мс	Число ЦП	Средняя занятость ЦП обработкой заявки, мс
Высокая	9,3	4	0,009
	93	16	
Средняя	0,333	4	0,068
	3,33	16	
Низкая	0,07	4	0,15
	0,7	16	

Поступающий на входы n ДЗ РВС характеризуется интенсивностью, которая описывается выражением $\lambda_{00} = \lambda_0 / n$. ДЗ обрабатывает поступающие задачи с некоторой интенсивностью μ_D . Когда ДЗ занят обработкой текущей задачи, другие поступающие на обслуживание требования ожидают своего сервиса очереди. В случае переполнения очереди поступающие задачи перенаправляются в другую менее занятую очередь. После описания характеристик перейдем непосредственно к построению моделей в программах [7, 8]. С помощью графового представления (рис. 3, б) можно рассчитать вероятностно-временные характеристики выхода ($p_{20}, p_{n+1 0}$) задачи, полностью получившей обслуживание, и вероятностно-временные характеристики возвращения ($p_{12}, p_{n n+1}$) на дообслуживание в ДЗ. Приведенные вероятностно-временные характеристики напрямую связаны с трудоемкостью поступившей задачи: чем задача более трудоемкая, тем дольше она обрабатывается в ЦП. При исследова-

нии приняты параметры, представленные в таблице. Данные параметры входной интенсивности поступающих задач на обслуживание обеспечивают среднюю загрузку ЦП примерно до уровня 65–70%. Принято, что длина очереди перед ДЗ составляет 128 задач. Среднее время активности ДЗ принято равным 0,002 мс [9].

Обзор методов математического описания характеристик РВС показывает, как можно простым и наглядным образом получить значения характеристик РВС, не затрачивая при этом больших ресурсов и средств. Для проведения эксперимента получены и определены параметры исследуемых моделей, которые нашли свое применение при построении аналитических и имитационных моделей РВС.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведенных экспериментов над моделями получены результаты, которые отражены на графиках на рис. 4–6.

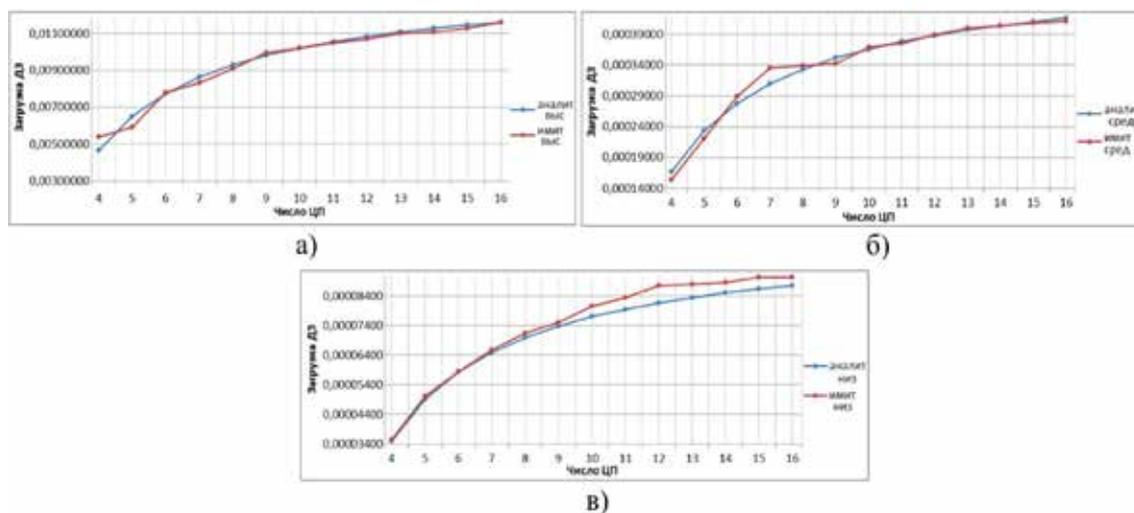


Рис. 4. Зависимость загрузки ДЗ с распределенной очередью от числа ЦП при различной трудоемкости: высокой (а) средней (б) и низкой (в)

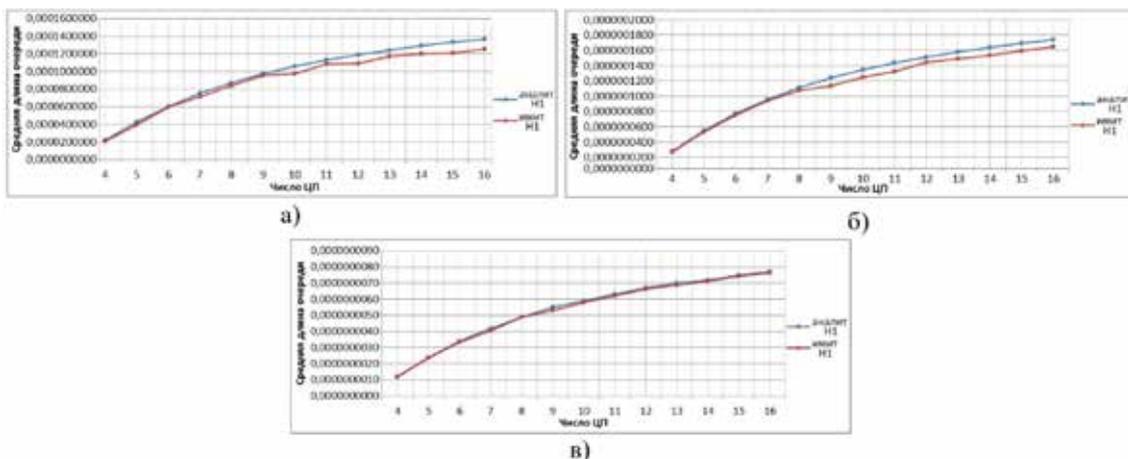


Рис. 5. Соотношение средней длины очереди $H1$ в РВС от числа ЦП при высокой (а) средней (б) и низкой (в) трудоемкости поступающих на обслуживание задач

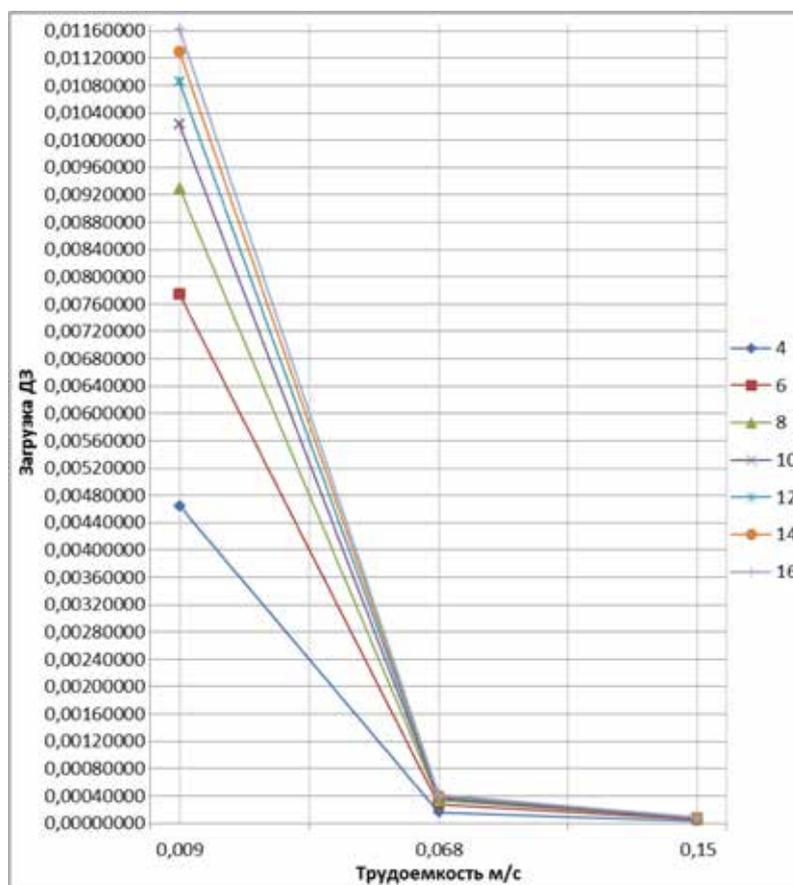


Рис. 6. Трудоемкость задач в РВС, влияющая на загрузку ДЗ с распределенной очередью

Графики, изображенные на рис. 4, показывают плавную зависимость загрузки ДЗ при увеличении числа ЦП. Отличим от системы с общей очередью также является то, что в системе с распределенными очередями ДЗ значения загруз-

ки примерно в 10 раз меньше при всех трех значениях трудоемкости. Данные результаты дают основание утверждать, что система ДЗ с распределенной очередью имеет большую производительность, чем аналогичная.

Графики, изображенные на рис. 5, показывают соотношение средней длины очереди перед ДЗ(Н1) от количества ЦП в РВС. Данное соотношение, в сравнении с зависимостью в системе ДЗ с общей очередью [9], имеет равномерный характер роста при росте числа ЦП, само же значение средней длины очереди имеет разницу в 100 раз.

Графики, приведенные на рис. 6, характеризуют зависимость загрузки ДЗ с распределенной очередью от трудоемкости задач в РВС с числом ЦП от 4 до 16 соответственно. Отметим, что в РВС с ДЗ с распределенными очередями загрузка примерно в 10 раз меньше, чем в аналогичной системе с другим типом ДЗ [9].

Сделаем выводы по проведенным исследованиям. При проведении экспериментов на исследуемых моделях значения основных характеристик (коэффициент загрузки ДЗ, время реакции РВС, средняя длина очереди перед ДЗ) имели небольшой разброс, что подчеркивает адекватность разработанных моделей и целесообразность их применения при проведении аналогичных исследований.

Заключение

В работе проанализированы современные РВС и подсистемы диспетчеризации задач, в том числе рассмотрены возможности практического применения моделей в виде реализации функциональных узлов-диспетчеров задач в составе РВС. Основными достигнутыми результатами являются пред-

ложенные модели ДЗ с целью исследования влияния различного вида производительности, верифицированные экспериментально.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-71-00110.

Список литературы

1. Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера. 6-е изд. СПб.: Питер, 2013. 816 с.
2. Орлов С.А., Цилькер Б.Я. Организация ЭВМ и систем: учебник для вузов. 3-е изд. Стандарт третьего поколения. СПб.: Питер, 2014. 688 с.
3. Каляев И.А., Левин И.И., Семерников Е.А., Дордопуло А.И. Реконфигурируемые вычислительные системы на основе ПЛИС семейства VIRTEX-6 // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2011. Т. 15. № 5 (45). С. 148–154.
4. Левин И.И., Дордопуло А.И., Каляев И.А., Гудков В.А. Высокопроизводительные реконфигурируемые вычислительные системы на основе ПЛИС VIRTEX-7 // Параллельные вычислительные технологии (ПАВТ'2014): труды Международной научной конференции. 2014. С. 131–139.
5. Таненбаум Э., Бос Х. Современные операционные системы. СПб.: Питер, 2015. 1120 с.
6. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. 363 с.
7. Мартышкин А.И. Программа для расчета основных вероятностно-временных характеристик подсистемы планирования и диспетчеризации многопроцессорных систем // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2016619353, 18.08.2016. Заявка № 2016616801 от 27.06.2016.
8. Юданова В.В. Имитационное моделирование систем массового обслуживания // Отходы и ресурсы. 2019. № 4. URL: <https://resources.today/PDF/23INOR419.pdf> (дата обращения: 10.04.2022).
9. Мартышкин А.И. Разработка и анализ математической модели диспетчера задач реконфигурируемой вычислительной системы // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 3. С. 73–79.

УДК 004.89

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ НАКОПЛЕНИЯ ДАННЫХ ПОСРЕДСТВОМ СТЕРЕОПАРЫ И ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА

Полянцева К.А.

*Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»,
Москва, e-mail: k.a.poliantseva@mtuci.ru*

В данной статье представлена разработка алгоритма накопления данных посредством установки со стереопарой, состоящей из двух камер GoPro Hero7 Black с синхронизированным видеопотоком, микрокомпьютером Jetson Nano для захвата видеопотока и специально сконструированного крепления для того, чтобы получившуюся систему стереозрения можно было закрепить на автомобиле. Поскольку для решения поставленной задачи обнаружения будет выбрана обучаемая модель, ей необходимы примеры для обучения, однако готовых наборов данных, которые бы полностью удовлетворяли условиям задачи, не существует, опытным путем было собрано около 20 000 изображений, вследствие применения методов аугментации к начальному набору данных используемый датасет увеличился до 57 137 изображений. Также описывается разрабатываемый алгоритм детектирования дефектов дорожного полотна Prophetam-DD, основанный на архитектуре модели MC-CNN (так как среди изученных ранее архитектур MC-CNN, SGM-Nets, GC-Net, SegStereo, MC-CNN показывает наилучшую точность) и модернизированный посредством добавления слоев расширенной свертки вместо традиционной операции свертки для того, чтобы увеличить поле восприятия. По результатам обучения на 33 эпохах Prophetam-DD показал наибольшую производительность и точность – 96.78%.

Ключевые слова: машинное обучение, распознавание образов, нейронные сети, стереопара, детектирование дефектов

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR DATA ACCUMULATION BY MEANS OF STEREO PAIRS AND DETECTION OF ROADWAY DEFECTS

Polyantseva K.A.

*Order of the Red Banner of Labor Federal State Budgetary Educational Institution
of Higher Education «Moscow Technical University of Communications and Informatics»,
Moscow, e-mail: k.a.poliantseva@mtuci.ru*

This article presents the development of an algorithm for data accumulation by means of an installation with a stereo pair consisting of two GoPro Hero7 Black cameras with a synchronized video stream, a Jetson Nano microcomputer for capturing the video stream and a specially designed mount so that the resulting stereo vision system can be fixed on the car. Since a trainable model will be selected to solve the detection task, it needs examples for training, however, there are no ready-made data sets that would fully satisfy the conditions of the task, about 20,000 images were collected experimentally, as a result of the application of augmentation methods to the initial data set, the dataset used increased to 57137 images. The developed algorithm for detecting defects of the roadway Prophetam-DD is also described, based on the architecture of the MC-CNN model (since among the previously studied architectures MC-CNN, SGM-Nets, GC-Net, SegStereo, MC-CNN shows the best accuracy) and upgraded by adding layers of extended convolution instead of the traditional convolution operation in order to increase the field of perception. According to the results of training on 33 epochs, Prophetam-DD showed the highest performance and accuracy – 96.78%.

Keywords: Machine learning, pattern recognition, neural networks, stereo pairs, defect detection

Целью исследования является создание алгоритмического обеспечения решения задачи обработки изображений в задаче дефектовки дорожного полотна для работы в режиме реального времени на устройствах с малой вычислительной мощностью.

Синхронизация камер – это процесс, при котором 2 или более камер создают и передают разные потоки кадров в один момент времени для получения кадров стереоизображения. Идеальная синхронизация камер достигается в тот момент, когда разница по времени между совершением кадров равняется 0 с. На практике такую синхронизацию получить практически не-

возможно, поэтому задача синхронизации камер заключается в уменьшении времени между производством двух кадров в одной системе [1].

Процесс получения стереоизображения напрямую зависит от синхронизации двух камер, используемых в модуле стереопары. Так как система работает при динамическом движении автомобиля, то очень важно добиться минимального времени между кадрами, чтобы получить как можно большее качество стереоизображения.

В данном случае используются 2 камеры GoPro Hero7 Black. Видеопотоки с этих камер захватываются микрокомпьютером

Jetson Nano посредством карт видеозахвата Espada EscapViHU. Каждая камера подключена к двум независимым USB 3.0-портам, что дополнительно позволяет ускорить работу модуля.

Камеры не имеют внешних триггеров для синхронизации потока кадров. Поэтому было разработано 2 алгоритма (рис. 1) для синхронизации камер, а соответственно и получения кадров с минимальной разницей во времени.

При использовании первого алгоритма кадр с первой камеры захватывается и сразу же открывается, а затем захватывается кадр со второй камеры и открывается.



Рис. 1. Блок-схема алгоритма получения кадров: а) 1 способ; б) 2 способ

При использовании первого алгоритма (кадр с камеры 1 захватывается и сразу же открывается, а затем захватывается кадр с камеры 2 и открывается) было выяснено, что разница между кадрами при 30 кадрах в секунду составляет примерно 32 миллисекунды, а при 60 кадрах в секунду составляет примерно 17 миллисекунд. При использовании второго алгоритма (камеры сначала фиксируют кадры, а после фиксации извлекаются сразу с двух камер) было выяснено, что временной интервал между кадрами

при 30 кадрах в секунду составил 11 миллисекунд, а при 60 кадрах в секунду составил 8 миллисекунд. Это существенно меньше, чем при работе первого алгоритма.

Можно сделать вывод, что задача синхронизации камер заключается в уменьшении времени между производством двух кадров в одной системе. В качестве метода синхронизации камеры был выбран второй алгоритм, так как при его использовании замечен меньший временной интервал, в сравнении с первым алгоритмом.

Методика создания системы для сбора данных заключалась в использовании двух видеокамер и специально сконструированного крепления для того, чтобы получившуюся систему стереозрения можно было закрепить на автомобиле.

В качестве видеокамер использовались две камеры GoPro 7 HERO в режиме 1080p 120 кадров в секунду. Для крепления стереопары и обрабатывающего компьютера к автомобилю была создана специальная конструкция. Для крепления камер и микрокомпьютера использовались изделия, напечатанные из нейлона на 3D-принтере для облегчения веса конструкции. Также на 3D-принтере был напечатан герметичный корпус для Jetson Nano. Данная система предполагает установку на любой автомобиль (не требуется предварительная подготовка или какое-либо дополнительное оборудование).

Основной задачей при проектировании прототипа стереокамеры является достижение стереоэффекта. Стереоэффект основан на особенностях бинокулярного зрения человека и эффекте параллакса.

Наиболее часто применяется способ достижения стереоэффекта, при котором сенсор, регистрирующий изображение, смещается параллельно на расстояние, называемое базой стереосъемки (стереобазой). Для достижения качественного стереоэффекта изображения с правой и левой камер должны быть выравнены относительно друг друга в вертикальной и горизонтальной плоскости.

В зависимости от величины стереобазы изменяется погрешность расчета карты глубины изображения. Чем больше величина стереобазы, тем выше точность расчета расстояния до наблюдаемого объекта.

Исходя из расчета, для достижения приемлемой точности измерений расстояния до наблюдаемого объекта, находящегося в пределах одного метра от стереокамеры, минимально необходимо использовать базу стереосъемки, равную 15,38 см.

Поскольку для решения поставленных целей и задач обнаружения будет выбрана

обучаемая модель, ей необходимы примеры для обучения. Обычно для популярных задач машинного обучения имеются общедоступные коллекции примеров для обучения и исследований. Однако по причине относительного новшества решаемой в данной работе задачи, и необходимости тестирования разрабатываемой системы на реальных данных, было необходимо сформировать датасет.

Обучение нейронной сети для решения поставленных задач осуществлялось на собранном посредством установки набора данных (рис. 2).

В результате было собрано 20 000 ректифицированных стереоизображений (рис. 3), на которых отображены дефекты дорожного покрытия. Стереоизображения были разделены на 4 класса (по типам детектируемых дефектов) – трещины, выбоины, проломы, другое. На их основании были построены карты диспаратностей, которые затем были размечены на предмет выбоин при помощи утилиты LabelME [2; 3]. Наконец, результирующий набор данных был поделен на тренировочный и оценочный в соотношении 80% к 20%.

Создание наборов данных не ограничивается сбором реальных изображений,

другой подход к созданию обучающих данных – синтез искусственных изображений. Как правило, для этого используется аугментация. Процесс аугментации заключается в применении различных преобразований со случайными коэффициентами, например увеличение яркости или контраста изображения, поворот изображения по вертикали или по горизонтали и т.д. Это значительно расширяет тренировочный набор данных, что дает возможность нейронной сети лучше обобщать предсказания за счет большей устойчивости по отношению к изменению некоторых параметров входных данных.

В данной работе при обучении модели, основанной на архитектуре MC-CNN, применялись следующие случайные преобразования: горизонтальное масштабирование, поворот, изменение яркости и контраста, «наложение» погодных условий (снег, дождь), «наложение» дефектов камеры (блики, запотевания). Применялись они в основном при помощи механизма аффинных преобразований. Также каждое входное изображение стереопар было стандартизировано при помощи вычитания из каждого пикселя среднего значения всех пикселей и вычитания значения стандартного отклонения.

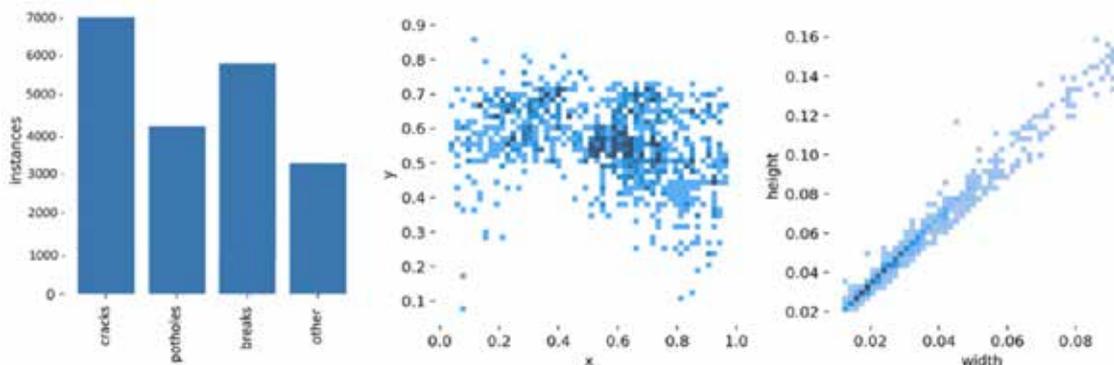


Рис. 2. Классы и количество элементов, содержащиеся в наборе данных



Рис. 3. Примеры собранных изображений

Увеличение набора данных путем многократного преобразования обучающих примеров является широко используемым методом для уменьшения ошибки. Преобразования применяются во время обучения и не влияют на производительность среды выполнения.

Вследствие применения методов аугментации к начальному набору данных, датасет увеличился до 57 137 изображений.

Параметры преобразования данных выбираются случайным образом для каждой пары патчей, и после одной эпохи обучения, когда один и тот же пример представляется сети во второй раз, выбираются новые случайные параметры. Выбираются разные параметры преобразования для левого и правого изображения: например, левый участок поворачивается на 10 градусов, а правый на 14 [4].

При анализе 4 моделей нейронных сетей и испытании их на реальных данных лучшие результаты показала MC-CNN. По результатам обучения MC-CNN показа-

ла наилучшую производительность и точность – 91.2%. При этом сети SegStereo, GC-Net, SGM-Nets также показали хорошие результаты.

Так как лучший результат среди исследуемых алгоритмов показала модель MC-CNN, то целесообразно создавать свою архитектуру на базе этой сети.

В данной архитектуре (рис. 4) применяется расширенная свертка [5] вместо традиционной операции свертки для того, чтобы увеличить поле восприятия. Благодаря этому поле восприятия экспоненциально расширяется для достижения лучшего результата вычисления цены сопоставления на основе патчей изображения. Данный подход позволяет избежать ухудшения карты признаков. Также объединяются признаки из различных слоев свертки.

Проведенные исследования показали, что предлагаемая модель обеспечивает лучшую производительность, чем имеющийся алгоритм MC-CNN, а также лучше работает на участках со слабой текстурой.

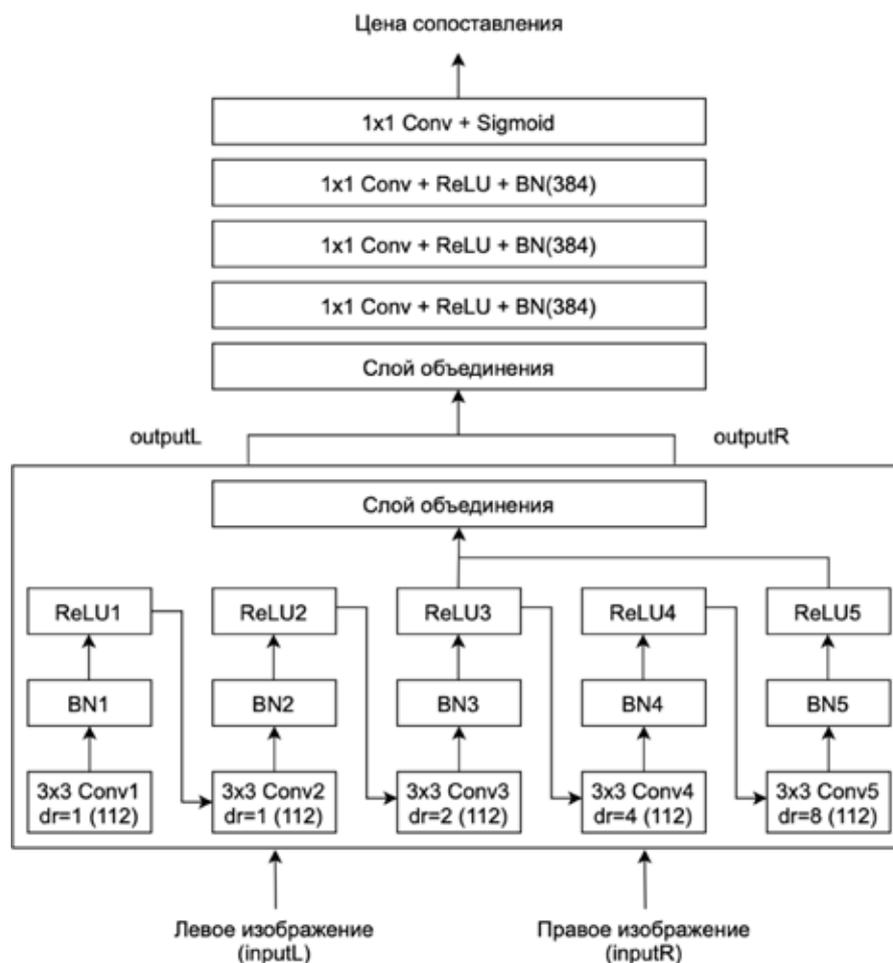


Рис. 4. Архитектура разработанной сети Prophetam-DD

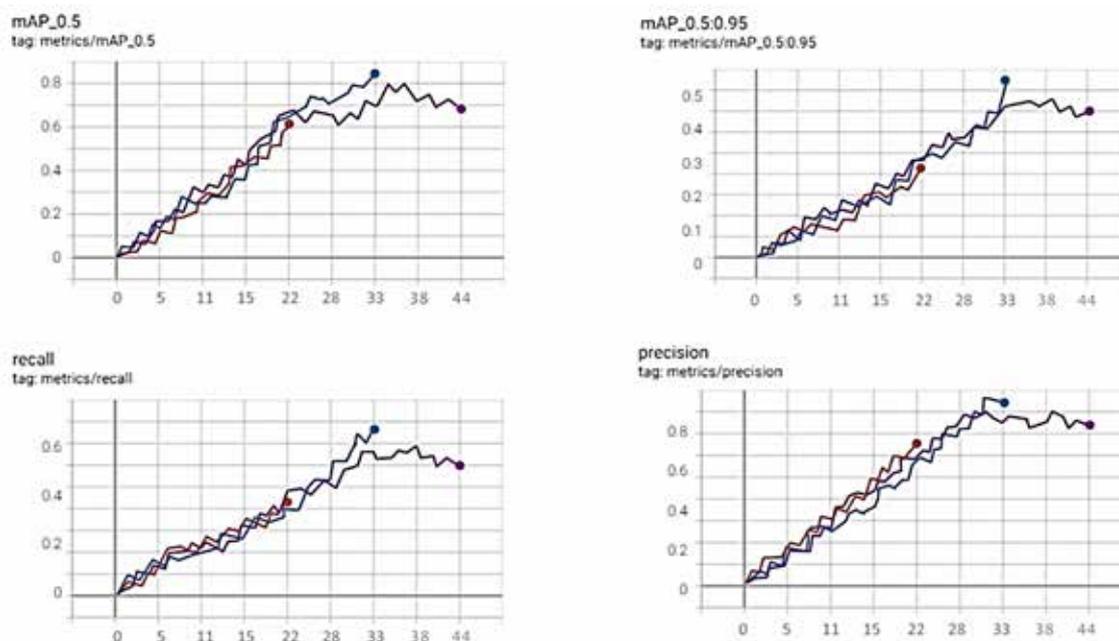


Рис. 5. Построенные системой карты диспаратности

MC-CNN состоит из двух основных частей.

Первая часть представляет собой пару сиамских сетей [6]. Сеть состоит из 5 сверточных слоев, каждый слой при этом имеет ядро 3×3 . Два интересующих нас участка изображения подаются в сеть (входные данные). Затем объекты, которые были извлечены из сиамских сетей, объединяются в качестве конечного результата.

Вторая часть состоит из трех полносвязных (FC) слоев с 384 нейронами и слоя, в котором в качестве функции активации применяется сигмоида [7]. Во избежание повторных вычислений и повторного использования модели на всем изображении полносвязные слои заменяются сверточными слоями с ядром 1×1 .

Традиционные сверточные слои были заменены расширенными сверточными слоями. На сверточных слоях с ядром 3×3 устанавливаются коэффициенты расширения (1, 1, 2, 4, 8), при этом увеличивая поле восприятия с 11×11 до 33×33 .

Вместо того чтобы использовать вывод conv5 только в качестве признаков изображения, вывод conv3, conv4 и conv5 объединяется как дескриптор.

В качестве метода оптимизации используется стохастический градиентный спуск (Stochastic gradient descent) [8]. Данный метод использует один пример из всей тренировочной серии для аппроксимации градиента, по которому затем происходит корректировка весов модели.

Итоговая модель обучалась 33 эпохи с коэффициентом обучения, равным 0.002, и моментом градиентного спуска 0.9.

Для тренировки сети использовался фреймворк PyTorch [9], для загрузки, предобработки и аугментации изображений использовалась библиотека компьютерного зрения OpenCV. Дальнейшая обработка выходных данных нейронной сети осуществляется вызовом ядер CUDA при помощи библиотеки CuPy.

При помощи ядер CUDA реализован параллельный алгоритм полуглобального сопоставления [10]. Его идея состоит в оптимизации цены сопоставления в различных направлениях и расчета на ее основании средней диспаратности. В данной работе используется вариация алгоритма с оптимизацией в 4 направлениях.

Дальнейшая постобработка осуществляется при помощи алгоритма устранения конфликтов. Этот этап используется для улучшения качества правой карты диспаратности посредством исключения конфликтующих значений между левой и правой картой.

Для оценивания точности системы используется собранный набор данных.

Оценка точности заключается в сопоставлении карты диспаратности на основании стереопар оценочного набора данных и в последующем сравнении отклонений предсказанных значений от известных истинных из набора. Если отклонение превышает установленное граничное значение,

делается вывод об ошибочности данного предсказания.

Для данной работы был выбран способ оценивания «bad2.0», в котором рассчитывается общий процент ошибочных предсказаний на всех стереопарах оценочного набора.

Для выбора оптимального срока обучения, с целью избежания ситуации недообучения или переобучения модели, было принято решение обучить модель на различном количестве эпох и сравнить полученные результаты. Сравнение обучений в 22, 33 и 44 эпохах и их визуализация осуществлены при помощи TensorFlow (рис. 5).

Оранжевый график – 22 эпохи, синий график – 33 эпохи, фиолетовый график – 44 эпохи; mAP (mean average precision) – метрика качества ранжирования; recall (полнота) – метрика, которая показывает, как много объектов класса Positive модель смогла распознать; precision (точность) – метрика, которая показывает, как много объектов, которые модель пометила классом Positive, действительно относятся к этому классу. По результатам обучения на 33 эпохах Prophetam-DD показал наибольшую производительность и точность – 96.78%.

Заключение

На основе архитектуры MC-CNN был разработан алгоритм детектирования дефектов дорожного полотна – Prophetam-DD. В искомую архитектуру были добавлены слои расширенной свертки вместо использования традиционной свертки. Это было сделано для того, чтобы расширить поле восприятия и избежать ухудшения карт признаков. В итоге разработанный нейросетевой алгоритм детектирования структурированных объектов на видеоизображении

Prophetam-DD показал высокие результаты и точность детектирования, равную 96,78%.

Список литературы

1. Gehrig S., Franke U. Stereovision for ADAS. Handbook of Driver Assistance Systems. Springer. Cham. 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-12352-3_22.
2. Lu Y., Hu Y., Xiao J. Help LabelMe: A Fast Auxiliary Method for Labeling Image and Using It in ChangE's CCD Data. Image and Graphics. ICIIG, 2019. Lecture Notes in Computer Science. Vol 11901. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-34120-6_65.
3. Gorodnichev M.G., Dzhabrailov K.A., Polyantseva K.A., Gematudinov R.A. On Automated Safety Distance Monitoring Methods by Stereo Cameras. 2020 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications (Moscow, 19–20 March 2020). Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. P. 9078616. DOI:10.1109/IEEECONF48371.2020.9078616.
4. Zbontar J., LeCun Y. Stereo matching by training a convolutional neural network to compare image patches. Journal of Machine Learning Research. 2016. P. 1-32. DOI: 10.48550/arXiv.1510.05970.
5. Yu Fisher, Vladlen Koltun. Multi-Scale Context Aggregation by Dilated Convolutions. CoRR. 2016. DOI: 10.48550/arXiv.1511.07122.
6. Chicco D. Siamese Neural Networks: An Overview. Artificial Neural Networks. Methods in Molecular Biology. Vol 2190. Humana, New York, NY, 2020. DOI: 10.1007/978-1-0716-0826-5_3.
7. Sharma Sudhir, Chandra Pravin. An Adaptive Sigmoidal Activation Function Cascading Neural Networks. Advances in Intelligent and Soft Computing. 2011. V. 87. P. 105-116. DOI: 10.1007/978-3-642-19644-7_12.
8. Жерон О. Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn и TensorFlow: концепции, инструменты и техники для создания интеллектуальных систем / Пер. с англ. СПб.: ООО «Альфа-книга», 2018. 688 с.
9. Макмахан Б., Рао Д. Знакомство с PyTorch: глубокое обучение при обработке естественного языка = Natural Language Processing with PyTorch. Build Intelligent Language Applications Using Deep Learning. СПб.: Питер, 2020. 256 с.
10. Hirschmuller H. Accurate and efficient stereo processing by semi-global matching and mutual information. 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05). 2005. V. 2. P. 807-814. DOI: 10.1109/CVPR.2005.56.

УДК 658.51

**РАЗРУШАЯ СТЕНЫ, ИЛИ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА
КАК МЕТОД ДЛЯ ПРЕОДОЛЕНИЯ ИНЕРЦИИ МЫШЛЕНИЯ**^{1,2}Харитонов Д.В., ^{1,3}Блинов А.Н., ¹Анашкин Д.А.¹АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина», Обнинск, e-mail: adma1981rus@gmail.com;²ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева», Москва, e-mail: haritonovdv1978@gmail.com;³ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», Казань, e-mail: blinov_aleksey81@mail.ru

В работе рассмотрен успешный пример использования проектного подхода в целях преодоления ограничений в научной лаборатории, занимающейся разработкой новых керамических материалов и технологических процессов изготовления изделий из них. Показаны причины возникновения негативной ситуации, сложившейся в лаборатории на начало проекта. Описаны причины популярности принятия «быстрых» решений. Представлены негативные последствия принятия «быстрых» решений в управлении работы лаборатории, связанные с ухудшением логистики; управления; планирования проведения работ; выполнения производственного плана. Продемонстрированы действия в процессе реализации проекта с описанием изменений. Результаты проекта показали, что часто происходит недооценка негативных последствий, связанных с неоптимальной логистикой и планировкой производственных помещений, приводящих к «скрытым» потерям. Подтверждена мысль, что для успешной реализации важно сформировать команду единомышленников, имеющих общие цели и задачи; готовых признавать наличие проблем; умеющих собирать, обрабатывать и анализировать информацию; формировать и реализовывать план изменений. Реализованный проект кроме поставленных перед ним целей: организовать в едином пространстве полный цикл изготовления керамических заготовок; высвободить для других производственных задач помещения; оптимизировать логистику движения работников – позволил понизить накал противоречий и конфликтов между работниками смежных подразделений, изменить мировоззрение участников, придав им уверенности. Результаты проекта стали наглядным подтверждением, что планомерная целенаправленная проектная деятельность позволяет достичь результатов, сложно и, главное, долго достижимых при традиционном подходе организации работ.

Ключевые слова: инерция мышления, проектный подход, быстрые решения, команда, оптимизация, изменение мировоззрения

**BREAKING DOWN WALLS OR IMPLEMENTING A PROJECT
AS A METHOD TO OVERCOME THE INERTIA OF THINKING**^{1,2}Kharitonov D.V., ^{1,3}Blinov A.N., ¹Anashkin D.A.¹Obninsk Research and Production Enterprise *Technologiya* named after A.G. Romashin, Obninsk, e-mail: adma1981rus@gmail.com;²D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, e-mail: haritonovdv1978@gmail.com;³Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan, e-mail: blinov_aleksey81@mail.ru

The paper considers a successful example of using a design approach in order to overcome the limitations in a scientific laboratory engaged in the development of new ceramic materials and technological processes for manufacturing products from them. The reasons for the negative situation in the laboratory at the beginning of the project are shown. The reasons for the popularity of making “quick” decisions are described. The negative consequences of making “quick” decisions in the management of the laboratory work associated with the deterioration of: logistics; management; planning of work are presented; implementation of the production plan. The actions in the process of project implementation with a description of the changes are demonstrated. The results of the project showed that there is often an underestimation of the negative consequences associated with suboptimal logistics and layout of production facilities, leading to “hidden” losses. The idea was confirmed that for successful implementation it is important to form a team of like-minded people who have common goals and objectives; are ready to admit the existence of problems; are able to collect, process and analyze information; form and implement a change plan. The implemented project, in addition to the goals set for it: to organize a full cycle of manufacturing ceramic blanks in a single space; to free up premises for other production tasks; to optimize the logistics of the movement of workers, allowed to reduce the intensity of contradictions and conflicts between employees of related departments, to change the worldview of participants, giving them confidence. The results of the project have become a clear confirmation that systematic, purposeful project activity allows achieving results that are difficult and, most importantly, long-achievable with the traditional approach of work organization.

Keywords: inertia of thinking, project approach, quick decisions, team, optimization, change of outlook

Любая организация и, соответственно, одна из ее структур при росте заказа неизбежно сталкивается с тем или иным ограничением. Организация как сложная система стремится к минимуму свободной энергии /потенциалу. В связи с чем любая

активность отдельных ее элементов, направленная на увеличение количества оборудования и работников, производственных площадей и т.п., неизбежно вызывает сопротивление системы. Ни одна организация не может себе позволить реализовывать все «хотелки» ее структурных единиц.

При этом слишком часто при возрастании нагрузки на структурное подразделение его руководство инициирует запрос у вышестоящего руководства на дополнительные ресурсы. Процесс, как правило, идет по «простому и быстрому пути», когда хотят получить больше – помещений, оборудования, людей, финансов – к уже существующим возможностям. Такая модель поведения понятна и обусловлена феноменом «инерции мышления» [1]. Благодаря ей человек, а точнее его мозг, экономит свои ресурсы при принятии разнообразных решений. То есть в условиях необходимости взаимодействовать с большим объемом информации (по некоторым оценкам используется меньше 3% информации) в условиях ограниченности времени, при повышении порога когнитивных способностей мозг вырабатывает алгоритмы принятия быстрых (эвристических) решений, позволяющий его разгрузить и максимально быстро сформулировать ответ на раздражение [2].

Данная стратегия является адаптацией на жизнь в больших социумах со сложной структурой и регламентом функционирования. Человек просто физически не способен каждое свое решение принимать обдуманно в соответствии с максимумом существующих фактов. И такой подход к принятию решений является в целом эволюционно выигрышным [3], так как позволяет повысить скорость принятия решения в условиях неопределенности и/или кризисов. Но у него есть недостаток. Инерция мышления или алгоритм принятия быстрых решений входит в привычку и используется не для решений простых задач, а для принятия важных управленческих решений.

Кроме личной инерции мышления можно выделить групповую или социальную инерцию мышления. Она различается: по форме и степени проявления; уровню рефлексии; причинам возникновения (защоренность, догматическое мышление, безответственность, консерватизм) [4]. Негативный вклад вносят деструктивные групповые процессы, обусловленные конформизмом; личностные и групповые конфликты (когда важны не сами идеи/предложения, а автор); нехваткой достоверной информации.

Цель исследования – выявление влияния инерции мышления на создание пре-

град для реализации изменений направленные на повышения производительности.

Материалы и методы исследования

Наглядным примером инерции мышления при разрешении проблемы дефицита оборудования и/или площадей для его установки структурному подразделению становится необходимо принятие простого и быстрого решения найти аналогичное оборудование в других структурных подразделениях. Решение на первый взгляд выглядит рациональным и рачительным. Не требуется тратить деньги на покупку/изготовление оборудования. Исключает риск того, что объем работы может уменьшиться и уже купленное оборудование не успеет себя «отбить».

Именно такая ситуация возникла в АО ОНПП I – Логистика. Как следствие, увеличение потерь, связанных с избыточным перемещением материалов, продукции и самих работников.

– Управление. В течение рабочего времени работникам приходится постоянно перемещаться между помещениями лаборатории и цеха, из-за чего у руководителей секторов лаборатории пропадает возможность оперативно контролировать деятельность своих подчиненных, что неизбежно приводит к ухудшению дисциплины и снижению общей продуктивности работы.

– Поддержание порядка. Изделия, образцы, оснастка, инструменты и документация хранились в разных помещениях, без стандарта. Это провоцировало конфликтные ситуации в коллективе, приводило к потерям времени на поиск необходимых документов, образцов, изделий и, как следствие, к их полной утрате.

– Планирование проведения работ. Так как часть работ проводилась на оборудовании цеха, неизбежно возникали ситуации, когда одно и то же оборудование нужно и лаборатории, и цеху. Но так как выполнение заказа для самого цеха является приоритетным, работа лаборатории могла тормозиться из-за необходимости дожидаться освобождения оборудования.

– Выполнение производственного плана цехом. При изменении плана производства оперативное изменение загрузки оборудованием затруднено. Наличие посторонних работников, оснастки, инструментов, образцов и документов в производственных помещениях цеха инициировало аналогичные, вышеописанные проблемы, но уже для работников цеха.

Весь этот каскад проблем в итоге приводил к новому витку неопределенности. Стоит отметить, что сложившаяся ситуация

не стала следствием последних оперативно принятых решений. Ранее принимаемые «быстрые» решения привели к ситуации неоптимального расположения участков и оборудования лаборатории, вследствие чего перемещения на значительные расстояния работники воспринимали спокойно. Ещё до возникновения ситуации, когда часть операций пришлось выполнять на аналогичном оборудовании в цехе, работникам лаборатории приходилось не только перемещаться самим между далеко разнесёнными помещениями, но и постоянно транспортировать материалы, документацию и контрольно-измерительные инструменты (рис. 1). Систематически приходилось перемещаться между помещениями, разнесёнными более чем на 120 м, расположенными на разных этажах. При этом суммарная площадь, занимаемая участком, составляла 98 м².

Вследствие потерь от ожидания освобождения оборудования удлинялись сроки выполнения работ, регулярно происходили наложения заданий, нарушалась ритмичность работы. Снижение управляемости процессом приводило к ухудшению производственной дисциплины и усилению нега-

тивности ситуации. Длительные ожидания и конфликты дополнительно демотивировали работников, что в свою очередь еще больше замедляло работу и снижало ее качество. В конечном итоге это стало формировать конфронтацию между лабораторией и цехом! Хотя у них общие цели и задачи.

«Быстрое и легкое» (рис. 2) решение и инерция восприятия руководством лаборатории запустили лавину негативных последствий, и при этом ситуация в лаборатории через некоторое время вернулась к изначальному состоянию – оборудования не хватает!

Ситуация стала не устраивать слишком большое количество заинтересованных сторон. Но при этом одновременно существующая система управления не позволяла в короткие сроки провести изменения. После осознания невозможности продолжать работать в сложившейся ситуации инициативными работниками было сначала предложено решение, а впоследствии оперативно сформирована группа по реорганизации участка лаборатории. Была сформулирована цель – организовать полный цикл изготовления заготовок в одном помещении, не забирая его у других структурных подразделений.

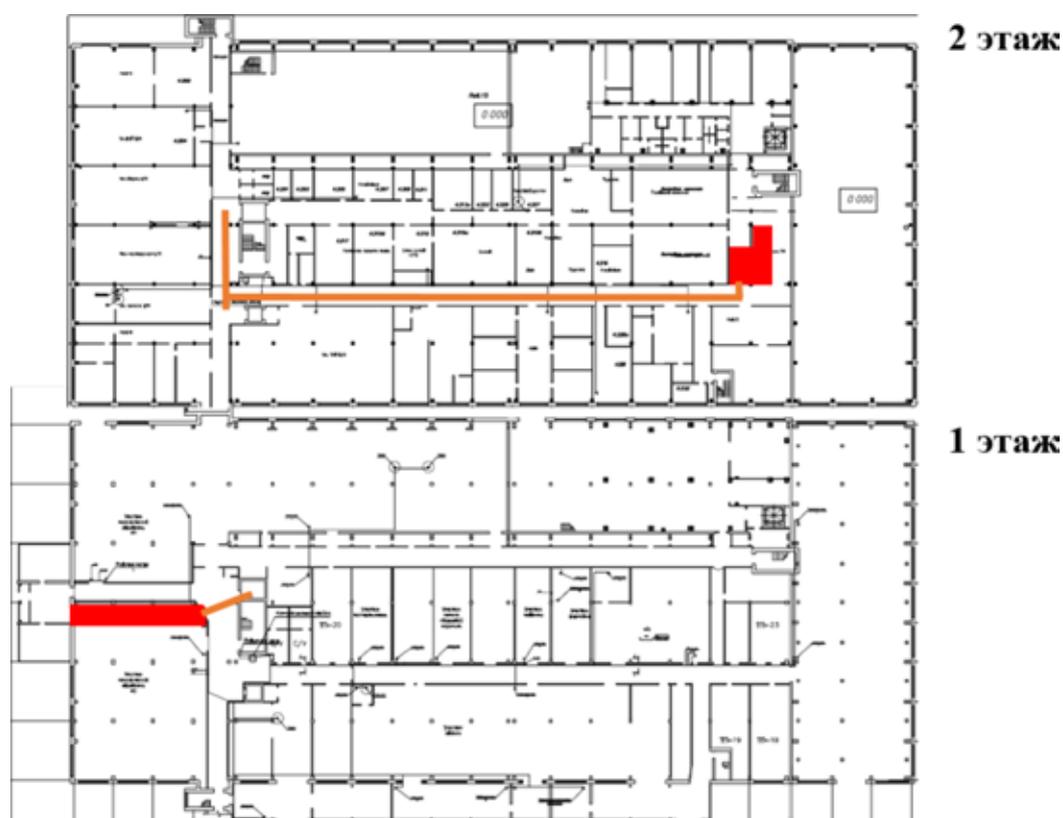


Рис. 1. Путь между помещениями участка, расположенными на разных этажах (красным – помещения участка, оранжевым – путь)



Рис. 2. Схема вариантов работы с проблемой

Вовлечение в группу ряда руководителей, возглавлявших различные направления деятельности, позволило выстроить новые горизонтальные связи и качественно ускорить работу над проектом. Начиная от разработки базового плана до оперативного контроля его реализации.

Реализация проекта происходила в несколько этапов: сбор цифр и фактов; поиск идей; выработка решения; его обоснование перед руководством; реализация. Среди основных трудностей можно выделить: необходимость искать временное место для размещения оборудования; обоснование необходимости выделения ресурсов для проекта; снятие сопротивлений; ограниченность финансовых ресурсов. Первым переломным этапом стал сбор фактических данных, с последующим построением карты потока создания ценности будущего состояния в крайне упрощенной форме. Важно было понять, где реально есть потери и где минимальными усилиями можно получить синергетический эффект.

Моделирование рабочего процесса полностью укомплектованного участка подтвердило, что в рамках существующих площадей (43 м² или 55 м²) разместить все необходимое оборудование невозможно. Анализ показал, что для реализации полного цикла формования керамических изделий по всей номенклатуре проводимых работ необходимо разместить 6 рабочих мест. Хотя на тот момент в помещении площадью 43 м² было только два рабочих места, а в помещении 55 м² с учётом его геометрии мож-

но бы было разместить ещё одно рабочее место, ни в одном из них не было возможности работать над крупногабаритными заготовками (до 450 мм). В процессе этой работы был проведен анализ как самого помещения, так анализ окружающего пространства (рис. 3).

Замеры показали, что участок и коридоры для движения занимают 126 м². То есть 53% площади тратится на коридоры! И в течение рабочей смены работникам цеха (около 150 чел.) как минимум два раза в день приходится обходить по кругу участок при посещении гардероба (зимой чаще) от точки Б к точке В и при этом проходить на 12 лишних метров за один поход. Аналогичные сложности возникали при движении от или к лестнице (точка А) и через три двери при провозе груза.

После построения визуализации движений стало очевидным: используемое участком пространство неоптимально, как по расположению, так и по форме помещения.

В целях реализации проектов в соответствии с принятыми на предприятии правилами было разработано и утверждено техническое задание на реконструкцию помещения участка лаборатории. Подготовлен точный список необходимого оборудования для его приобретения. В результате реализации проекта полезная площадь, задействованная для нужд участка, выросла практически в 2 раза, до 81 м² (рис. 3). А оптимальная планировка самого участка позволила рационально разместить все необходимое оборудование и мебель (рис. 4).

Было

Стало

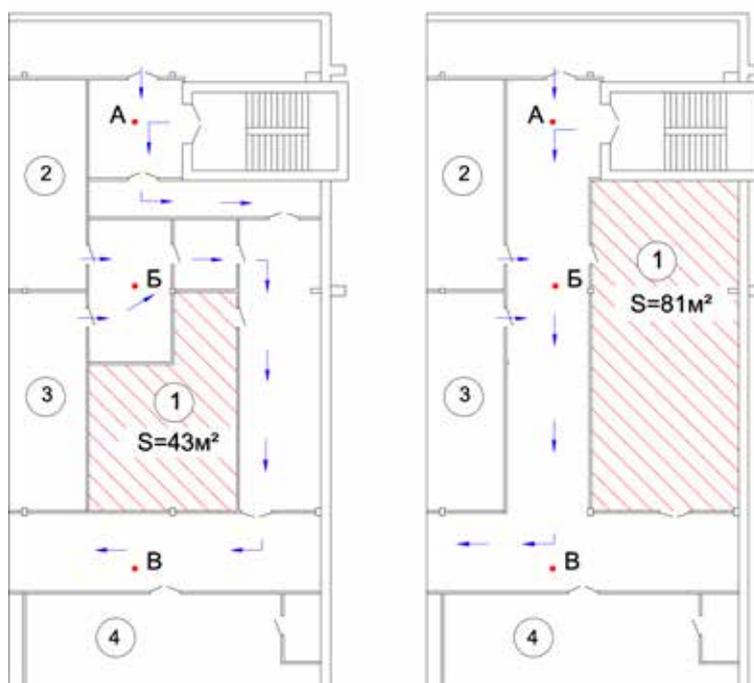
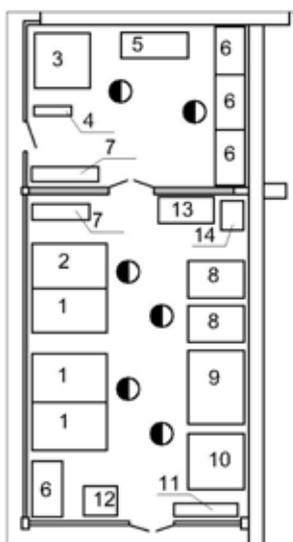
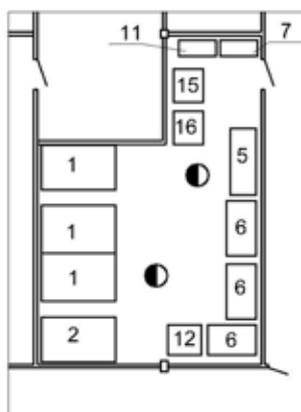


Рис. 3. Схема части корпуса, где располагался участок до и после изменений.
1 – реконструируемый участок; 2 – женские раздевалки работников цеха;
3 – мужские раздевалки работников цеха

Было

Стало



- 1 - Мельница шаровая
- 2 - Мельница валковая
- 3 - Кантователь
- 4 - Кран - тельфер
- 5 - Шкаф вытяжной
- 6 - Лабораторный стол
- 7 - Стелаж
- 8 - Установка для сушки
- 9 - Печь обжига
- 10 - Печь обжига
- 11 - Рабочая поверхность
- 12 - Мойка с отстойником
- 13 - Стол с ПК
- 14 - Шкаф для документов
- 15 - Шкаф
- 16 - Пресс

Рис. 4. Схема размещения оборудования и мебели на участке до и после изменений

Перепланировка части корпуса кроме высвобождения полезно используемых площадей позволила оптимизировать логистику движения работников. Работникам больше не надо по кругу обходить участок при дви-

жении от/к раздевалкам и лестнице. Это позволило сократить избыточное перемещение минимум на 12 м при каждом проходе. Общие потери на избыточное перемещение работников достигало почти на 1,5 тыс. км в год!

Сравнительный анализ изменений

	До изменений	После изменений	Комментарии
Полезная используемая площадь, м ²	43	81	Увеличение полезной используемой площади в 1,88 раза
Габариты изделий, мм	до 200	до 450	2,25 раза
Вес изделий, кг	до 1	до 15	15 раз
Количество проводимых операций	2	6	Полный цикл
Избыточное перемещение работников в год, км	750	0	Устранили

Есть много методологий, позволяющих бороться с инерцией мышления: ТРИЗ, Бережливое производство (Кайдзен), Теория ограничений систем, цикл Деминга – Шухарта. Но все они начинают работать при условии, что мы готовы: открыто признавать проблемы; самосовершенствоваться; рисковать; проявлять упорство в достижении поставленных задач; стремиться собрать всю необходимую информацию и факты; принимать решения и нести за них ответственность [5].

Результаты исследования и их обсуждение

Реализация данного проекта дала следующие выгоды для предприятия (таблица):

- высвободить для других производственных задач помещение площадью 55 м²;
- разрешить существующую проблему с нехваткой места в лаборатории;
- оптимизировать логистику движения работников всех структурных подразделений, использующих данную часть корпуса для перемещений;
- высвободить оборудование цеха для его нужд;
- понизить накал противоречий и конфликтов между работниками цеха и лаборатории.

Дополнительно успешный проект изменил мировоззрение участников и придал им уверенности. Результаты проекта стали наглядным подтверждением, что планомерная целенаправленная проектная деятельность позволяет достичь существенных результатов, сложно и, главное, долго достижимых при традиционном подходе.

Заключение

Показано, что инерция мышления является сильным тормозом для реализации изменений, направленных на повышение производительности. Самым важным ито-

гом реализованного в 2010 г. проекта стали не результаты перепланировок помещений и изменения логистики, а изменение мировоззрения руководителей, которые были задействованы в проекте. Осознание, что в действительности возможно делать производственную среду лучше, в короткие сроки «раскрыло глаза», придало уверенности и изменило представление на то, кто такой руководитель. Выполненная работа показала, что для успешной деятельности проектной группы и реализации проекта важны: общность цели, ее четкость и измеримость; солидарность и нацеленность на решение общих задач, а не личностных; убежденность в необходимости проводить изменения и готовность открыто отстаивать свою позицию; готовность разумно рисковать [6].

В дальнейшем новый опыт и изменение мировоззрения послужили толчком к проводимым в цехе изменениям, позволившим за 8 лет в рамках существующих площадей повысить выпуск продукции на 450%!

Авторы благодарны Косогину Михаилу Ивановичу за помощь в реализации проекта.

Список литературы

1. Джавадова С.А. Роль интуиции в потребительском поведении // Контентус. 2020. № 4. С. 30–37.
2. Емельянов А.С. «Эффект Кассандры» при принятии быстрых решений: логико-семантическая интерпретация // Вопросы безопасности. 2018. № 6. С. 25–46.
3. Михайлов И.Ф. Человеческий мозг и сознание: биология или вычисления? // Философские проблемы информационных технологий и киберпространства. 2018. № 2. С. 92–110.
4. Гнатюк М.А., Хоровинников А.А., Самыгин С.И. Экзистенциальные детерминанты и закон социальной инерции в российском обществе // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2018. № 7. С. 29–32.
5. Амеликин В.И. К вопросу о способности личности к техническому творчеству // Вестник Таганрогского института имени А.П. Чехова. 2009. № 2. С. 145–148.
6. Инновационный менеджмент: учебное пособие / Под ред. докт. экон. наук, проф. Л.Н. Оголевой. М.: ИНФРА-М, 2001. 238 с.

УДК 51-77:338.45

ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Шиков П.А., Никитина Л.Н., Шиков Ю.А.

*ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна», Санкт-Петербург,*

e-mail: pavel.shikov@mail.ru, kafedraekonomiki@yandex.ru, shikov.yuri@gmail.com

В статье рассматривается применение сетевого планирования на предприятиях легкой промышленности, что является важным и результативным инструментом, обладающим рядом преимуществ по сравнению с другими методами планирования и управления. Использование сетевого моделирования в производственных процессах предприятий легкой промышленности способствует решению задач при учёте материальных, трудовых и других ресурсов. Отличительными особенностями процесса производства новых изделий на предприятиях легкой промышленности являются: высокая трудоёмкость, сложность взаимозаменяемости сотрудников, быстрая обновляемость ассортимента продукции и т.д. С учётом использования сетевого планирования перед руководством предприятия представляется последовательность выполняемых работ, необходимые сроки начала и окончания работ, параллельность некоторых производственных процессов, что позволяет провести анализ и значительно сократить весь цикл производства изделия за счёт обнаружения резервов и подключения производственного персонала в соответствии с занимаемой должностью и разрядом с одной работы на другую и, как следствие, улучшить ключевые показатели эффективности предприятия. Также в статье проводится анализ теоретических и практических направлений применения сетевого моделирования, на конкретном предприятии строится модель сетевого графика производства женского демисезонного пальто бригадой в составе 120 работников, в результате исследования изыскиваются резервы для сокращения критического пути и длительности производства изделия на 22 мин, что приводит к оптимизации производственных процессов и к улучшению эффективности функционирования предприятия ООО «Стиль».

Ключевые слова: импортозамещение, санкции, сетевое планирование, критический путь, оптимизация производственных процессов, выявление резервов, предприятия легкой промышленности, быстрая сменяемость ассортимента, производственный потенциал

NETWORK MODELING USAGE IN THE PRODUCTION PROCESSES' OPTIMIZATION AT LIGHT INDUSTRY ENTERPRISES

Shikov P.A., Nikitina L.N., Shikov Yu.A.

St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, St. Petersburg,

e-mail: pavel.shikov@mail.ru, kafedraekonomiki@yandex.ru, shikov.yuri@gmail.com

The article discusses the use of network planning in light industry enterprises, which is an important and effective tool that has a number of advantages compared to other methods of planning and management. The use of network modeling in the production processes of light industry enterprises contributes to solving problems when taking into account material, labor and other resources. Distinctive features of the process of production of new products at light industry enterprises are: high labor intensity, complexity of interchangeability of employees, rapid renewal of the product range, etc. Taking into account the use of network planning, the management of the enterprise is presented with the sequence of work performed, the necessary dates for the start and end of work, the parallelism of some production processes, which makes it possible to analyze and significantly reduce the entire production cycle of the product by detecting reserves and connecting production personnel in accordance with the position held and discharge from one job to another and, as a result, improve the key performance indicators of the enterprise, the article also analyzes the theoretical and practical areas of application of network modeling, a model of a network schedule for the production of a women's demi-season coat by a team of 120 workers is built at a particular enterprise, as a result of the study reserves are being sought to reduce the critical path and produce a product duration of 22 minutes, which leads to the optimization of production processes and to an improvement in the efficiency of the operation. enterprise LLC "Style".

Keywords: import substitution, sanctions, network planning, critical path, optimization of production processes, identification of reserves, light industry enterprises, quick change of assortment, production potential

В условиях жёсткого санкционно-го давления и сворачивания налаженных бизнес-процессов западными партнёрами в России появляется необходимость замещать иностранные товары отечественными, что, несомненно, приведёт к росту производственного потенциала промышленных предприятий. Прежде всего, открываются новые перспективы для развития

предприятий легкой промышленности, так как её технологические особенности дают возможность быстро изменять ассортимент продукции при минимальных инвестициях, что обеспечивает высокую эффективность производственных процессов и быструю отдачу вложенных средств. Легкая промышленность играет важнейшую роль в современной экономике, первоочередной

задачей которой является обеспечение населения товарами промышленного и бытового потребления.

Развитие теоретических и практических направлений использования моделей сетевого планирования в производственных процессах промышленных предприятий способствует решению задач планирования и управления при учёте материальных, трудовых и других ресурсов. Производство новых изделий на предприятиях легкой промышленности отличается высокой трудоёмкостью, сложностью взаимозаменяемости работников, поэтому не всегда руководству предприятия удаётся достичь высоких экономических результатов в краткосрочной перспективе.

«Сетевое экономико-математическое моделирование планирования производства даёт возможность определить все операции, необходимые для выполнения конкретного производственного заказа, их взаимозависимость, упорядоченную по времени последовательность их реализации, оптимальное время для исполнения заказа в целом, а также проанализировать возможные проблемы с выполнением заказа в полном объеме и в приемлемое время. Также сетевое моделирование позволяет оценить влияние альтернатив на сроки выполнения и финансовых результат в случае исполнения заказа» [1].

Математической основой сетевого планирования служит теория графов, которая получила активное развитие в 1930-е гг., т.е. задолго до появления сетевого планирования. Теория графов рассматривает процессы и явления окружающего мира в виде системы параметрических точек и стрелок, соединяющих их между собой. Таким образом, возможно представлять различные экономические явления или взаимоотношения между отраслями, предприятиями, подразделениями. Например, точки – мощности предприятия, стрелки – взаимосвязи, организация складского хозяйства – кружки, стрелки – возможные взаимосвязи складов в процессе размещения продукции.

Параметры, моделирующие системы или какой-либо процесс, рассматриваются в теории графов как некое множество. Последнее обозначают прописными буквами A, B, \dots, X, Z , а элементы этого множества – соответственно строчными буквами a, b, \dots, x, z . То обстоятельство, что множество A состоит из элементов a , записывают с помощью: $a \in A$.

Множество может иметь бесконечно большое число элементов (бесконечное множество), конечное число элементов (конечное множество) или вообще не иметь ни одного элемента (пустое множество) [2].

Некоторое множество B , полностью входящее в состав другого множества A , называется подмножеством и обозначается $B \in A$. Наконец, множества A и B называются совпадающими, если все элементы совпадают. В таком случае $A = B$. Элементы множества изображаются на плоскости в виде точек. Любые пары элементов этого множества, находящиеся между собой в определённых соотношениях, соединяются стрелками, носящими название ориентированных дуг. В результате получается граф. В каждом графе имеется не менее одной точки, в которую не входит ни одна дуга, некоторое количество точек. Первый тип точек называется входом, а второй – выходом графа. Конечный ориентированный граф, имеющий единственный вход и единственный выход, носит название сети.

Каждой точке графа соответствует определённое положительное число, называемое интенсивностью точек. Каждой дуге соответствует положительное число, именуемое длиной (или пропускной способностью) дуги.

Последовательность дуг, в которой конец предыдущей дуги совпадает с началом последующей, называется путём, причём длина пути складывается из суммы длин составляющих его дуг.

Одной из важнейших задач сети является задача определения критического пути.

Если обозначить через i и j два смежных события, причём $j > i$, то можно отметить:

$$P_{i-j}^n = t_j^n - (t_i^p + t_{i-j}). \quad (1)$$

Каждое из слагаемых этой зависимости можно выразить через продолжительность критического пути $t_{кр}$:

$$t_j^n = t_{кр} - t_{max}^{j-n}, \quad (2)$$

$$t_i^p = t_{max}^{0-i}. \quad (3)$$

Поскольку для работ критического пути $P_{i-j}^n = 0$, это можно записать следующим образом:

$$T_{кр} = t_{max}^{0-i} + t_{i-j} + t_{max}^{j-n}. \quad (4)$$

Из чего следует, что алгоритм нахождения критического пути состоит в отборе такой цепи работ и событий, при которой нарастание и максимизация результатов на каждом этапе расчётов [2].

Применение сетевого планирования на предприятиях легкой промышленности является важным и результативным инструментом, обладающим рядом преимуществ по сравнению с другими методами планирования и управления. Перед руководством предприятия и начальниками отделов чёт-

ко представляется последовательность выполняемых работ, необходимые сроки начала и окончания работ, параллельность некоторых производственных процессов, что позволяет провести анализ и значительно сократить весь цикл производства изделия за счёт обнаружения резервов и подключения производственного персонала в соответствии с занимаемой должностью и разрядом с одной работы на другую и, как следствие, улучшить ключевые показатели эффективности предприятия. «После получения производственного заказа для него формируется исходная информация, получаемая от технологов, нормировщиков, конструкторов. Для того чтобы построенные сетевые модели не навредили производству, а повысили его эффективность, важно, чтобы исполнители, получившие задания на разработку изделия, заполнили все массивы исходной информации корректно. Для построения сетевого графика необходимо объединить информацию в отдельную таблицу, выполнить процедуры разузлования, группировки и сортировки» [3].

Цель исследования – рассмотрение производственного процесса пошива женского демисезонного пальто на базе применения моделей сетевого планирования и предложение рекомендаций по оптимизации сетевого графа для повышения эффективности производственной деятельности предприятия ООО «Стиль».

Для построения сетевого графика используем основные правила и элементы построения сетевого планирования. Обработка исходной информации, построение, анализ и оптимизация сетевой модели планируемого объекта обуславливают наличие знания целей и методов оптимизации. Основные элементы сетевого графика:

1. Работы (процессы во времени, которые сопровождаются материальными и трудозатратами).

2. События (результаты выполняемых работ производственного процесса).

В табл. 1 представлены этапы технологического процесса пошива женского демисезонного пальто на предприятии ООО «Стиль», их продолжительность, количество исполнителей, расчёт критического пути, раннего начала работ, раннего окончания, раннего и позднего свершения, определение резервов. Для того чтобы сетевой график стал важным инструментом управления производственным процессом, необходимо выявить резервы времени, сделать перепланировку графика с учётом перераспределения ресурсов и изменения технологии производства и выводением на параллельные пути критических работ. «При таком подходе затраты производственных ресурсов на единицу продукции задаются во времени, т.е. по некоторым дискретным периодам, в сумме определяющим производственный цикл. Такой вектор затрат – агрегированную технологию – можно построить для производства каждой единицы продукции (каждого заказа) на основании сетевого графика» [4].

На конкретном примере рассматривается производство женского демисезонного пальто бригадой в составе 120 работников, за 118,95 мин осуществляется пошив 50 изделий следующих размеров – 42–48 (рисунок). Первые две технологические операции (работы) осуществляются в раскройном цехе закройщиками, далее заготовки передаются в швейный цех, и к работе подключается бригада швей 2–5 разрядов. Для проведения расчётов параметров модели сетевого графика воспользуемся следующими обозначениями в табл. 1.

Таблица 1

Условные обозначения сетевого графика пошива демисезонного пальто (формулы составлены по материалам [2])

Название показателя	Условное обозначение основных показателей
Ранний срок свершения события	$t_j^p = \max \{t_i^p + t_{i-j}\}$
Поздний срок свершения события	$t_i^n = \min \{t_i^n + t_{i-j}\}$
Резерв времени события	$P_i = t_i^n - t_i^p$
Ранний срок начала работы	$t_{i-j}^{p,h}$
Ранний срок окончания работы	$t_{i-j}^{p,o} = t_{i-j}^{p,h} + t_{i-j}$
Поздний срок начала работы	$t_{i-j}^{n,h} = t_{i-j}^{n,o} - t_{i-j}$
Поздний срок окончания работы	$t_{i-j}^{n,o}$
Полный резерв времени работы	$P_{i-j}^n = t_j^n - (t_i^p + t_{i-j})$
Свободный резерв времени работы	$P_{i-j}^c = (t_j^p - t_i^n) - t_{i-j}$
Частный резерв времени работы	$P_{i-j}^n = t_j^n - t_i^n - t_{i-j}$

Таблица 2

Исходные данные и параметры расчёта сетевого графика производственного процесса пошива демисезонного пальто

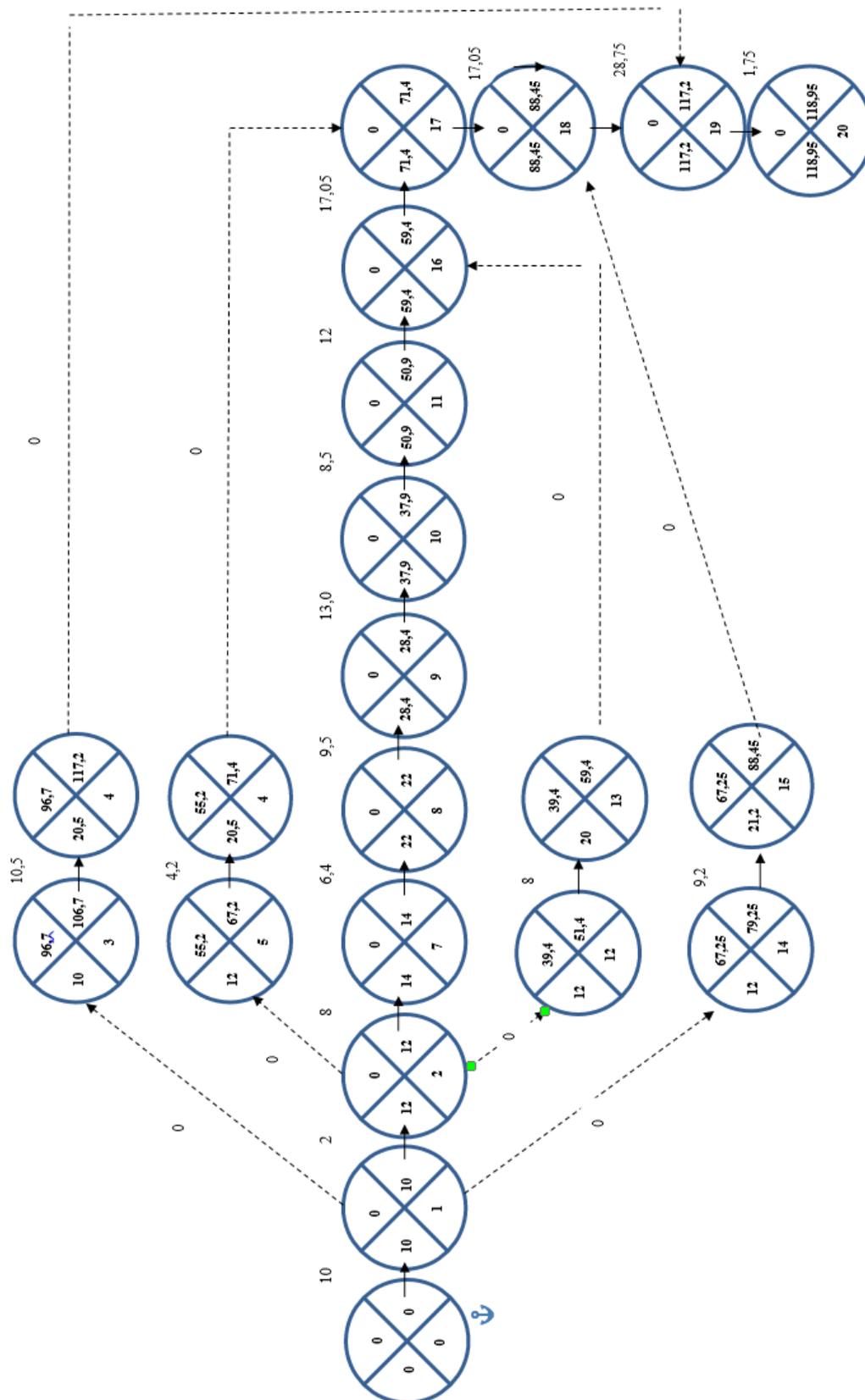
№	Этап	Количество работников	Возможность совмещения технологических операций	Трудоемкость в часах	Раннее свершение	Позднее свершение	Резерв времени события	Раннее начало работ	Раннее окончание работ	Позднее начало работ	Позднее окончание работ	Полный резерв	Свободный резерв	Частный резерв
0-1	Раскрой деталей	1 закройщик	0	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	0,00	0,00
1-2	Дублирование деталей кроя	1 закройщик	0	2,00	10,00	10,00	0,00	10,00	12,00	10,00	12,00	0,00	0,00	0,00
1-3	Фиктивная работа, до начала работы 3-4 получить результаты работы 0-1	0	0	0	10,00	106,70	96,70	10,00	106,70	106,70	106,70	96,70	0,00	96,70
3-4	Обработка подкладки	12 швей низкой квалификации (2 разряд)	0	10,5	20,50	117,20	96,70	10,00	20,50	106,70	117,20	96,70	-65,95	0,00
2-5	Фиктивная работа, до начала работы 5-6 получить результаты работы 1-2	0	0	0	12,00	67,20	55,20	12,00	12,00	67,20	67,20	55,20	0,00	55,20
5-6	Обработка воротника	7 швей (2-4 разряд)	могут подключиться к работам 8-9, 7-8, 17-18, 18-19)	4,2	16,20	71,40	55,20	12,00	16,20	67,20	71,40	55,20	-41,28	0,00
2-7	Транспортировка деталей из раскройного цеха в швейный	1 грузчик	0	2	14,00	14,00	0,00	12,00	14,00	12,00	14,00	0,00	0,00	0,00
7-8	Обработка клапана	7 швей (3, 4 разряд)	0	8	22,00	22,00	0,00	14,00	22,00	14,00	22,00	0,00	0,00	0,00
8-9	Обработка полочки	4 швей (3 разряд)	0	6,4	28,40	28,40	0,00	22,00	28,40	22,00	28,40	0,00	0,00	0,00

Продолжение табл. 2

№	Этап	Количество работников	Возможность совмещения технологических операций	Трудоемкость в часах	Раннее свершение	Позднее свершение	Резерв времени события	Раннее начало работ	Раннее окончание работ	Позднее начало работ	Позднее окончание работ	Полный резерв	Свободный резерв	Частный резерв
9-10	Обработка карманов	10 швей (2, 3 разряд)	0	9,5	37,90	37,90	0,00	28,40	37,90	28,40	37,90	0,00	0,00	0,00
10-11	Обработка потайной застёжки	12 швей (2-4 разряд)	0	13	50,90	50,90	0,00	37,90	50,90	37,90	50,90	0,00	0,00	0,00
2-12	Фиктивная работа, до начала работы 12-13 почитать результаты работы 1-2	0	0	0	12,00	51,40	39,40	12,00	12,00	51,40	51,40	39,40	0,00	39,40
12-13	Обработка спинки	6 швей (3 разряд)	могут подключиться к работам 16-17, 17-18, 18-19)	8	20,00	59,40	39,40	12,00	20,00	51,40	59,40	39,40	-28,90	0,00
2-14	Фиктивная работа, до начала работы 14-15 почитать результаты работы 1-2	0		0	12,00	79,25	67,25	12,00	12,00	79,25	79,25	67,25	0,00	67,25
14-15	Обработка рукавов	9 швей (3 разряд)	могут подключиться к работам 16-17, 17-18, 18-19)	9,2	21,20	88,45	67,25	12,00	21,20	79,25	88,45	67,25	-48,20	0,00
11-16	Соединение спинки с полочкой	13 швей (2, 3 разряд)	0	8,5	59,40	59,40	0,00	50,90	59,40	50,90	59,40	0,00	-28,90	0,00
13-16	Фиктивная работа, до начала работы 16-17 почитать результаты работы 11-16	0	0	0	20,00	20,00	0,00	20,00	20,00	59,40	59,40	39,40	0,00	0,00

Окончание табл. 2

№	Этап	Количество работников	Возможность совмещения технологических операций	Трудоемкость в часах	Раннее свершение	Позднее свершение	Резерв времени события	Раннее начало работ	Раннее окончание работ	Позднее начало работ	Позднее окончание работ	Полный резерв	Свободный резерв	Частный резерв
6-17	Фиктивная работа, до начала работы 17-18 поучить результаты работы 5-6	0	0	0	16,20	16,20	0,00	16,20	16,20	71,40	71,40	55,20	0,00	0,00
16-17	Соединение воротника с изделием	9	0	12	71,40	71,40	0,00	59,40	71,40	59,40	71,40	0,00	0,00	0,00
15-18	Фиктивная работа, до начала работы 18-19 поучить результаты работы 14-15	0	0	0	21,20	21,20	0,00	21,20	21,20	88,45	88,45	67,25	0,00	0,00
17-18	Соединение рукавов с изделием	11 швей (3-5 разряд)	0	17,05	88,45	88,45	0,00	71,40	88,45	71,40	88,45	0,00	0,00	0,00
4-19	Фиктивная работа, до начала работы 19-20 поучить результаты работы 3-4	0	0	0	20,50	117,20	96,70	20,50	20,50	117,20	117,20	96,70	0,00	0,00
18-19	Соединение изделия с подкладкой	15 швей (3, 4 разряд)	0	28,75	117,20	117,20	0,00	88,45	117,20	88,45	117,20	0,00	0,00	0,00
19-20	ОТК	1 маркировщик, 1 фасовщик	0	1,75	118,95	118,95	0,00	117,20	118,95	117,20	118,95	-120,70	0,00	0,00



Сетевой граф производственного процесса пошива женского демисезонного пальто

Заключение

Результаты расчёта параметров сетевого графика представлены в табл. 2 и на графике (рисунок). Самый длительный по времени критический путь характеризуется работами с нулевым резервом, он определится выполнением работ 0–1, 1–2, 2–7, 7–8, 8–9, 9–10, 10–11, 11–16, 16–17, 17–18, 18–19, 19–20. При существующей организации работ по производству демисезонного женского пальто критический путь составил 118,95 мин. Согласно программе руководства по оптимизации производственных процессов следует изыскать резервы и сократить длительность пошива изделия на 22 мин с целью улучшения эффективности и увеличения загрузки производственных мощностей предприятия.

В результате изучения работ, лежащих на критическом пути, находим, что возможно сократить продолжительность работы 17–18 на 10 мин, благодаря подключению 2 швей с участков выполняемых работ 5–6 и 2 швей с работы 12–13, также возможно уменьшить время на выполнение работы 18–19 на 12 мин, увеличив количество швей за счёт выявления резервов и высвобождения 4 швей с работы 14–15. Перепланировка сетевого графика позволяет проводить работы по пошиву женского демисезонного пальто за 96,95 мин.

Безусловно, такие расчеты и анализ производственных работ достаточно трудоем-

ки. Требуется автоматизация и разработка соответствующего программного обеспечения для оперативного использования сетевых технологий при оптимизации выполнения работ технологических операций. «Таким образом, можно сделать вывод, что актуальной является задача разработки моделей, алгоритмов, методов и программных средств автоматизированного планирования и оперативно-диспетчерского управления в условиях применения многофункционального оборудования в мелкосерийном многономенклатурном производстве» [5].

Список литературы

1. Сесекин Н.А. Сетевое экономико-математическое моделирование оптимизации мелкосерийного производства на предприятии // Вестник ПГГПУ. Серия № 3. Гуманитарные и общественные науки. 2016. № 1. С. 51–55.
2. Бездудный Ф.Ф., Шапиро Е.С., Андреев П.Я. Сетевые методы планирования и управления в текстильной и легкой промышленности. М.: Легкая индустрия, 1969. 180 с.
3. Капулин Д.В., Винниченко М.В., Винниченко Д.И. Автоматизация планирования мелкосерийного производства сетевыми методами // Прикладная информатика. 2016. Т. 11. № 6 (66). С. 6–18.
4. Титов В.В., Безмельничин Д.А. Интеграция стратегического планирования и операционной деятельности на предприятии на основе оптимизационного моделирования // Вестник НГУ. Серия: Социально-экономические науки. 2015. № 1. С. 123–130.
5. Исаков И.Н. Особенности оперативного планирования в условиях мелкосерийного многономенклатурного производства, оснащенного многофункциональным оборудованием // Известия ТулГУ. Технические науки. 2017. № 8–2. С. 292–297.

СТАТЬИ

УДК 378.147

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕССЕНДЖЕРОВ
В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ****¹Быков А.А., ²Киселева О.М.**¹*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», филиал,
Смоленск, e-mail: mail@sbmpei.ru;*²*ФГБОУ ВО «Смоленский государственный университет», Смоленск, e-mail: fizmat@smolgu.ru*

Цифровые технологии пришли во все сферы жизни и деятельности человека. Образование не стало исключением. Постоянная угроза всеобщего перехода на дистанционное обучение, преследующая нас с 2020 г., вынудила педагогов искать и внедрять в образовательный процесс альтернативные способы взаимодействия педагогов и обучающихся. Удобной онлайн-системой дополнительной коммуникации в учебно-воспитательном процессе стали мессенджеры, которые позволяют реализовать опосредованное общение участников педагогического процесса. В статье описаны и обобщены следующие функциональные возможности мессенджеров в образовательном процессе: обмен текстовыми сообщениями, обмен электронными учебными материалами, запись голосовых сообщений, видеозвонки, создание группы пользователей, виртуальные помощники. Востребованность каждой из выделенных функций в современном образовании была рассмотрена авторами в ходе констатирующего этапа эксперимента. В качестве экспериментальной базы выступил филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске. Оценка степени применимости различных возможностей мессенджеров в педагогике проходила по трем уровням: высокий – регулярное использование функции в преподавании изучаемых дисциплин; средний – эпизодическое применение возможностей мессенджеров отдельными преподавателями; низкий – редкое использование рассматриваемых функций или отсутствие подобного опыта.

Ключевые слова: мессенджер, образовательный процесс, программное обеспечение, цифровизация**THE USE OF MESSENGERS IN THE EDUCATIONAL PROCESS****¹Bykov A.A., ²Kiseleva O.M.**¹*Branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute in Smolensk,
Smolensk, e-mail: mail@sbmpei.ru;*²*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Smolensk State University»,
Smolensk, e-mail: fizmat@smolgu.ru*

Digital technologies have come to all spheres of human life and activity. Education was no exception. The constant threat of a universal transition to distance learning, which has been haunting us since 2020, has forced teachers to look for and implement alternative ways of interaction between teachers and students in the educational process. Messengers have become a convenient online system of additional communication in the educational process, which make it possible to implement indirect communication of participants in the pedagogical process. The article describes and summarizes the following functionality of messengers in the educational process: text messaging, exchange of electronic educational materials, recording voice messages, video calls, creating a user group, virtual assistants. The relevance of each of the identified functions in modern education was considered by the authors during the ascertaining stage of the experiment. The National Research University "MEI" in Smolensk acted as an experimental base. The assessment of the level of applicability of various messenger capabilities in pedagogy took place at three levels: high – regular use of the function in teaching the subjects studied; medium – occasional use of messenger capabilities by individual teachers; low – rare use of the functions in question or lack of such experience.

Keywords: messenger, educational process, software, digitalization

Пандемия 2020 внесла в жизнь каждого человека и общества в целом значительные изменения. В первую очередь это коснулось личного общения, появилась необходимость соблюдать социальную дистанцию, по возможности прибегать к удаленной форме решения проблем [1]. Сегодня время локдаунов прошло, однако востребованность в оперативной коммуникации остается, поэтому информационно-коммуникационные технологии, которые позволяют находиться на связи и при этом быть разделенными территориально, особенно актуальны.

Одной из социально значимых областей, ощутивших на себе влияние повсе-

местной цифровизации, стало образование [2]. Находясь под постоянной угрозой полного вынужденного перехода на дистанционную форму обучения, учебно-воспитательный процесс активно адаптировал все лучшее, что могут дать информационно-коммуникационные технологии [3]. На наш взгляд, сделанное в педагогике с точки зрения ее цифровизации за последние два года по объему и качеству сравнимо с предыдущим десятилетием.

Вопрос удаленной коммуникации между преподавателем и обучающимся, ставший одним из основных при дистанционном обучении, остается актуальным

и при возврате к очной форме работы, поскольку ученики и их родители привыкли всегда быть на связи, что позволяет современный уровень развития технологий. Одним из популярных средств удаленного общения, применяемых в образовательном процессе, стали мессенджеры, такие как WhatsApp, Telegram, Viber и др.

Мессенджер – приложение или онлайн-система, дающая возможность мгновенно обмениваться информацией через интернет [4].

Рассматриваемая проблема вызывает интерес у педагогов с момента появления мессенджеров в телефоне практически каждого обучающегося. Современная педагогическая литература насчитывает значительное число научных работ, которые можно отнести к попыткам построения общей теории вопроса [5], методике применения данных онлайн-систем при преподавании отдельных дисциплин [6, 7], особенностям работы с различными категориями обучающихся [8] и т.п. При этом сам предмет рассмотрения постоянно находится в развитии, появляются различные дополнительные функции мессенджеров, что дает новые образовательные возможности, поэтому можно заключить, что теоретико-методологическая база вопроса находится в стадии формирования.

Цель работы – исследовать и описать востребованность и применимость различных возможностей мессенджеров в образовательном процессе.

Материалы и методы исследования

При исследовании проблемы применения мессенджеров в образовательном про-

цессе будем использовать следующую группу методов:

- анализ научной литературы по рассматриваемой проблеме;
- анализ прогрессивного педагогического опыта;
- педагогический эксперимент;
- методы математической оценки результатов исследования.

Онлайн-системы обмена информацией сегодня являются для молодого поколения естественной средой коммуникации. Применение данных способов взаимодействия в образовательном процессе дает возможность уменьшить разрыв между традиционной формой проведения учебных занятий и современными высокотехнологичными видами коммуникации. Включение гаджетов в образовательный процесс позволяет обучающимся не отвлекаться на телефоны, а рассматривать их как полноправный педагогический инструментарий.

Использование мессенджеров в образовании позволяет не только осуществлять диалог между собеседниками, но и воссоздавать и модифицировать привычные форматы общения: совместный просмотр учебных материалов; участие в вебинарах, коллоквиумах, конференциях; удаленное проведение учебных занятий и др. Современные онлайн-системы обмена информацией подстраиваются под потребности пользователей, компании разработчики задумываются о расширении функционала в том числе в области, которая раньше не ассоциировалась с мессенджерами – педагогике.

Обобщим функциональные возможности мессенджеров в образовательном процессе и представим в их в виде схемы (рис. 1).

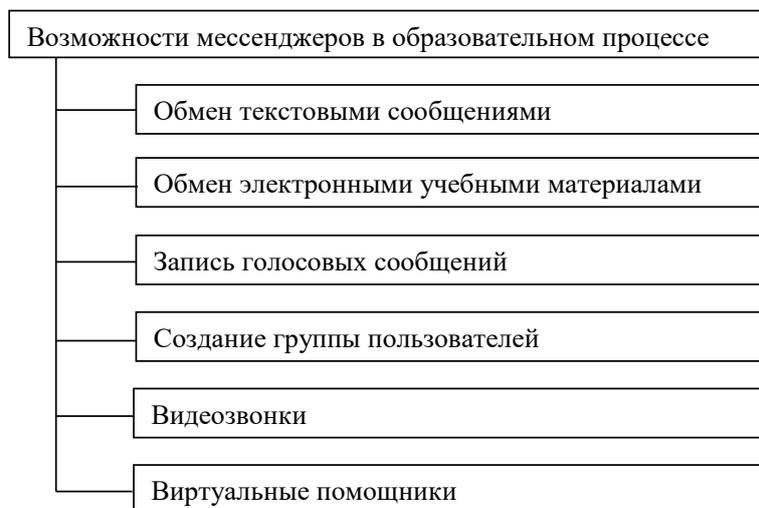


Рис. 1. Возможности мессенджеров в образовательном процессе

Рассмотрим каждую из обозначенных функций более подробно.

Обмен текстовыми сообщениями

Сегодня эпистолярный жанр претерпел значительные изменения. Развернутые тексты эволюционировали в короткие сообщения, сочетающие текст, голосовые, видеофрагменты и мультимедийный контент. Доступность, высокая скорость, информативность текстового общения посредством мессенджеров позволяет оперативно решать организационные, образовательные и другие проблемы учебно-воспитательного процесса в момент, когда собеседники находятся далеко друг от друга. Организация диалога между преподавателем и обучающимся на основе обмена сообщениями позволяет не ограничиваться занятиями в аудитории, а расширить образовательное пространство, предоставляя педагогическую поддержку обучающимся во внеаудиторное время.

Обмен электронными учебными материалами

Участники удаленного общения могут обмениваться документами, фотографиями, картинками, презентациями, видео, ссылками и др. [9]. Передача дополнительного учебного материала на гаджеты обучающихся позволяет интегрировать его в образовательный процесс в привычных и удобных для учеников формах. Телефон может выполнять роль дополнительного экрана, дублирующего традиционную демонстрацию на электронной доске, при этом обучающиеся являются активными участниками рабочего процесса, поскольку могут переходить по ссылкам и взаимодействовать с приложениями. Гаджеты могут использоваться как методическая копилка – рассылка вспомогательных материалов в мессенджерах позволяет сохранять их и легко прикрепить в случае необходимости.

Запись голосовых сообщений

Запись голосовых сообщений предназначена для оперативного общения с контактами и группами. Голосом удобно передавать важную, срочную или требующую эмоциональной окраски информацию. Помимо коротких сообщений административного или учебного характера, современный мессенджер позволяет осуществлять достаточно длительную запись, тем самым реализуя функцию диктофона. Это позволяет в удобное для обучающегося время и столько раз, сколько необходимо, прослушать объяснения преподавателя или фрагменты записанной и пересланной лекции. Кроме того, в ближайшее будущее некоторыми разработчиками планируется

реализация средств транскрипции голоса, что сделает работу с голосовыми сообщениями в учебно-воспитательном процессе более востребованной.

Создание группы пользователей

Создание группы пользователей для коллективного общения можно рассматривать как виртуальную площадку для обсуждения учебных тем. При реализации общения педагога и обучающихся чаты могут иметь следующее назначение:

- административные группы, в которых реализуется обмен актуальной информацией. В первую очередь такие чаты являются новостными и призваны сообщать об изменениях в расписании, предоставлять доступ к нормативной информации, знакомить с успехами преподавателей и обучающихся, служить базой для проведения опросов при реализации педагогического эксперимента и т.п.;

- образовательные группы по изучаемым предметам, назначением которых является предоставление дополнительной учебной информации и ответов на типичные вопросы обучающихся;

- родительские чаты для поддержки связи с родителями;

- чаты трудового коллектива, предназначенные для решения организационных вопросов, проведения оперативных совещаний или обмена опытом.

Видеозвонки

Общение посредством видеозвонков, как индивидуальных, так и групповых, в период вынужденного всеобщего дистанционного обучения было наиболее популярно, поскольку позволяло проводить полноценные учебные занятия. За последние несколько лет появилось множество научных работ по методике реализации видеозанятий [10], поэтому после возврата к традиционному обучению данная функция не утратила своей актуальности и успешно применяется для проведения учебных консультаций.

Виртуальные помощники

Использование образовательных чат-ботов позволяет соблюсти баланс между информационным голодом обучающихся и необходимостью в свободном от работы времени у педагога [11]. Виртуальные собеседники позволяют не только в автоматическом режиме оказать педагогическую помощь обучающимся и их родителям, но и выполнить это качественно, оперативно и в любое время. Онлайн-консультанты только начинают входить в образовательную практику, но уже позволяют существенно дополнить автоматизированное рабочее место учителя [12].

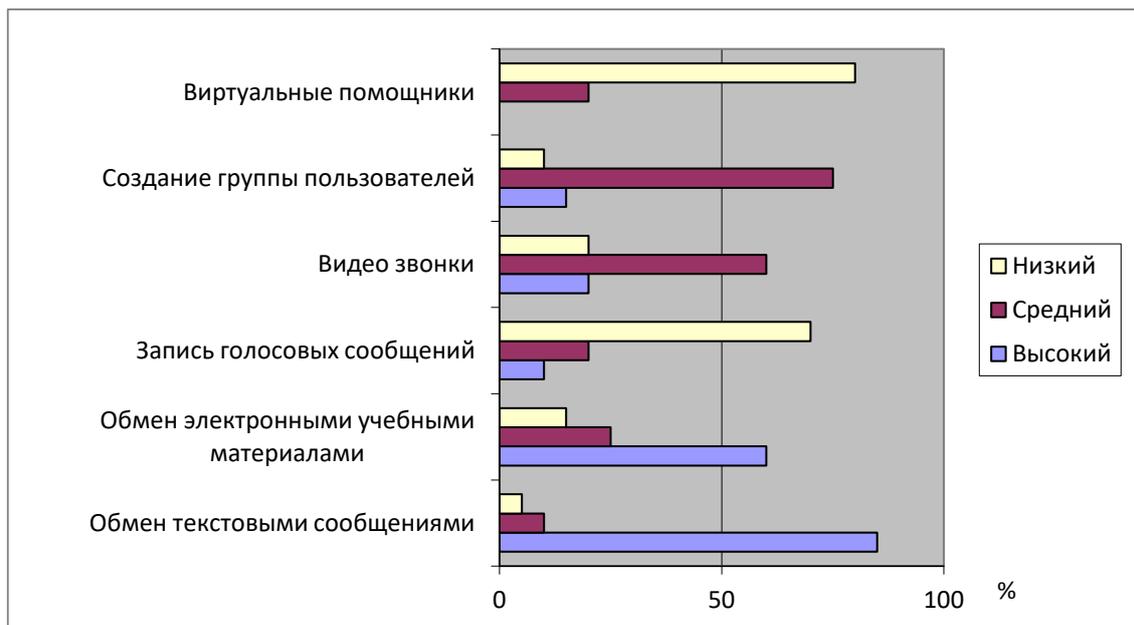


Рис. 2. Результаты опроса студентов по текущему состоянию уровня использования мессенджеров в образовательном процессе

Результаты исследования и их обсуждение

Оценка востребованности различных функций современных мессенджеров в образовательном процессе проводилась на базе филиала Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске. В констатирующем эксперименте принимали участие 112 обучающихся первого и второго курсов технических специальностей.

Испытуемым было предложено оценить степень использования каждой из представленных ранее в статье (рис. 1) возможностей мессенджеров в образовательном процессе в течение срока их обучения.

Респонденты должны были выбрать одну из трех категорий:

- высокий уровень применения – регулярное использование функции в преподавании изучаемых дисциплин;
- средний уровень – эпизодическое применение возможностей мессенджеров отдельными преподавателями;
- низкий уровень – редкое использование рассматриваемых функций или отсутствие подобного опыта.

Количественные результаты опроса исследуемой группы по вопросу современного состояния применения различных функций мессенджеров в образовании приведены на рис. 2.

Заключение

По результатам опроса наиболее используемыми возможностями онлайн-систем передачи информации является обмен текстовыми сообщениями и электронными учебными материалами. На наш взгляд, это обусловлено тем, что данная форма общения приближена к обычной, повседневной коммуникации как обучающихся, так и педагогов. Она не требует ничего создавать даже по готовым шаблонам и успешно переключалась из обыденной жизни в образование.

Востребованность на среднем уровне показали такие функции мессенджеров, как видеозвонки и создание группы пользователей. Несмотря на то, что режим проведения удаленных занятий в форме видеоконференции хорошо зарекомендовал себя в период вынужденного дистанционного обучения [13], полученная оценка, на наш взгляд, обусловлена наличием значительного числа специализированных программных продуктов для работы в данном формате. Они создают конкуренцию мессенджерам в этом вопросе. Создание групп пользователей в онлайн-системах обмена информацией и их модерация требует регулярного внимания со стороны преподавателя, что ограничивает использование данной функции в образовательном процессе.

Возможности записи голосовых сообщений и создания виртуальных помощ-

ников продемонстрировали самый низкий уровень использования в обучении исследуемой группы. Трудоемкость создания образовательного чат-бота, даже при использовании конструктора виртуальных помощников, не говоря уже о программировании, не позволяет сегодня применять все преимущества виртуального ассистента в образовательном процессе каждому педагогу. Однако, на наш взгляд, именно эта возможность онлайн-систем обмена информацией является одной из наиболее перспективных для внедрения в педагогику.

Таким образом, мессенджеры являются современным способом коммуникации, в целом востребованным в образовательном процессе. Их применение в обучении относится к той форме цифровизации образования, которая реализуется не только за счёт появления новых информационно-коммуникационных разработок в области педагогики, но и адаптации существующих цифровых продуктов к нуждам образования.

Исходя из результатов проведенного эксперимента, можно сделать вывод о том, что наиболее часто применимы в учебно-воспитательном процессе возможности онлайн-систем передачи информации, использование которых не требует специальных навыков, продолжительного обучения или покупки программного обеспечения, а также временных и трудовых затрат педагога для разработки и поддержания процесса функционирования.

Список литературы

1. Быков А.А., Киселева О.М. Перевод традиционной лекции в дистанционный формат // Современные проблемы науки и образования. 2021. № 2. URL: <https://science-education.ru/article/view?id=30712> (дата обращения: 26.04.2022).
2. Козлов С.В., Шкуратова А.А. Особенности мониторинга образовательного пространства с использованием новых информационных технологий // Системы компьютерной математики и их приложения. 2020. № 21. С. 393–399.
3. Тимофеева Н.М. О цифровых технологиях из арсенала современного преподавателя // Развитие научно-технического творчества детей и молодежи. Киров, 2020. С. 108–113.
4. Манапова О.Н., Подин М.С. Современные мессенджеры в учебном процессе профессиональной образовательной организации: сильные и слабые стороны // Инновационное развитие профессионального образования. 2021. № 3 (31). С. 54–59.
5. Королева Д.О. Использование мобильных и сетевых технологий в обучении школьников: дис. ... канд. пед. наук. Москва, 2018. 180 с.
6. Аветисян Н.Н. Роль голосовых мессенджеров в обучении английскому языку как пример цифровизации образования // Шатиловские чтения. Цифровизация иноязычного образования. СПб., 2020. С. 50–54.
7. Быков А.А., Киселева О.М. Оценка эффективности применения чат-бота как информационной поддержки преподаваемой дисциплины // Современные проблемы науки и образования. 2022. № 1. URL: <https://science-education.ru/article/view?id=31481> (дата обращения: 26.04.2022).
8. Быков А.А., Коткина Н.А., Сенчилов В.В., Тимофеева Н.М., Киселева О.М. Педагогические аспекты внедрения дистанционного курса по алгебре 9 класс для детей с особыми образовательными потребностями // European Social Science Journal. 2017. № 10. С. 193–200.
9. Тимофеева Н.М. О цифровизации образовательного процесса в условиях полного его переноса в онлайн // Системы компьютерной математики и их приложения. 2021. № 22. С. 388–394.
10. Козлов С.В., Шкуратова А.А. Изучение программирования с помощью веб-сервисов организации видеоконференций // Вопросы педагогики. 2021. № 10–1. С. 124–128.
11. Гречихин С.С. Дистанционное обучение с помощью образовательных чат-ботов в современных мессенджерах // Балтийский гуманитарный журнал. 2020. № 3 (32). С. 66–68.
12. Кузнецов В.В. Перспективы развития чат-ботов // Успехи современной науки. 2016. № 12. С. 16–19.
13. Быков А.А., Киселева О.М. Перевод традиционных лабораторных работ в дистанционный формат // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 6–1. С. 136–140.

УДК 378.141.21

ОБ АНТРОПОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВАНИЯХ ОТБОРА АБИТУРИЕНТОВ НА ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ

Васенина А.Ю.

ФГАОУ ВО «Казанский федеральный университет», Казань, e-mail: ms.sharkova94@yandex.ru

Престиж профессии педагога в настоящее время находится на низком уровне благодаря трансформации роли образования из необходимости в услугу. По всей России наблюдается дефицит педагогических кадров, который необходимо восполнять. Выбор многих выпускников педагогических вузов оказывается не в пользу образовательных учреждений. В связи с этим возникает необходимость выявления факторов, приводящих к такому развитию событий. Целью исследования явилось выявление и теоретическое обоснование антропологических оснований отбора абитуриентов на педагогические направления подготовки. В исследовании принимали участие обучающиеся первого курса по направлению подготовки 44.03.01 Педагогическое образование (бакалавриат). Эмпирические данные подверглись корреляционному анализу. Выявлено, что существует положительная связь между компонентами внешней и внутренней мотивационной сферы поступления в педагогический вуз, также внутренние аспекты мотивации тесно коррелируют с релевантными профессиональными мотивами. Антропологические основания отбора абитуриентов включают в себя: исследование влияния внешних компонентов мотивации будущего педагога, изучение внутренних мотивов обучающегося, анализ будущих профессиональных стимулов будущего учителя. Были предложены некоторые критерии отбора абитуриентов на педагогические направления подготовки: олимпиада школьников, конкурс портфолио, написание эссе, собеседование.

Ключевые слова: внешняя мотивация, внутренняя мотивация, мотивы поступления в вуз, релевантные профессиональные мотивы, антропологические признаки, отбор абитуриентов, критерии отбора

ABOUT THE ANTHROPOLOGICAL BASIS OF THE SELECTING ENTRANTS FOR PEDAGOGICAL FIELD OF STUDY

Vasenina A.Yu.

Kazan Federal university, Kazan, e-mail: ms.sharkova94@yandex.ru

The prestige of the teaching profession is currently at a low level due to the transformation of the role of education from a necessity to a service. There is a shortage of teaching staff throughout Russia, which needs to be filled. The choice of many graduates of pedagogical universities is not in favor of educational institutions. In this regard, there is a need to identify the factors leading to such a development of events. The purpose of the study was to identify and theoretically substantiate the anthropological grounds for selecting applicants for pedagogical field of study. The research involved first-year students in the field of training 44.03.01 Pedagogical education (bachelor's degree). It is revealed that there is a positive relationship between the components of the external and internal motivational spheres of admission to a pedagogical university, and the internal aspects of motivation are closely correlated with relevant professional motives. The anthropological basis of the selecting entrants for pedagogical field of study include: the research of the influence of external components of the motivation of the future teacher, the study of the internal motives of the student, the analysis of future professional incentives of the future teacher. Some criteria of the selecting entrants for pedagogical field of study were proposed: school olympiad, portfolio competition, essay writing, interview.

Keywords: external motivation, internal motivation, motives for entry to the university, relevant professional motives, anthropological basis, selection of entrants, selection criteria

Современный мир предлагает выпускникам средних общеобразовательных школ огромный выбор направлений подготовки в вузах. Наблюдение показывает, что выбор специальности «педагог», «учитель» часто осуществляется абитуриентами по остаточному принципу. Следовательно, будущий студент, выбравший специальность педагога в качестве профессии по такому принципу, часто находится в состоянии дезориентации и плохо себе представляет перспективу и сущность своей предстоящей профессиональной педагогической деятельности. В связи с этим возникает проблема формирования профессионального самоопределения и самосознания у будущих педагогов, поступающих на направление «Педагогическое образование».

Сегодня практика свидетельствует о том, что должного внимания процессу формирования профессионального самоопределения будущих учителей в стенах высших учебных заведений уделяется недостаточно, в то время как общество и работодатели предъявляют довольно высокие требования к подготовке педагогов. Тенденция дефицита педагогических кадров наблюдается по всей стране. Согласно статистике, в 2019 году нехватка учителей выросла с 49% до 51%, что показывают результаты опроса более 3 тыс. преподавателей из 83 регионов страны [1]. В то же время после окончания педагогического вуза трудоустраиваются в школы менее половины выпускников. Несомненно, на данную ситуацию оказывают влияние не только такие

факторы, как низкая зарплата, большое количество отчетности, повышенная ответственность учителя, но и несформированное профессиональное самоопределение и самосознание выпускников педагогических направлений подготовки.

Стоит отметить, что предпринимаемые попытки восполнить дефицит кадров с помощью различных государственных программ имеют определенный успех. Однако, как показывают опросы участников одного из таких проектов, это временная мера. Например, отзывы участвующих в программе «Земский учитель», подразумевающей заполнение педагогических кадров в сельской местности, говорят о том, что большинство участников (52%) стимулирует финансовая поддержка в виде 1 млн рублей [2]. В связи с этим представляется вероятным, что, отработав пять лет согласно условиям программы, педагог может сменить кардинально свою профессиональную деятельность и уехать в город либо поменять место работы, и должность учителя вновь станет вакантной.

Необходимо подчеркнуть, что в условиях современной педагогической системы педагог и ученик выступают субъектами образовательного процесса. При этом деятельность педагога как субъекта сводится к проектированию, организации учебного и воспитательного процессов, роли наставника и консультанта, конструктора и исследователя. В настоящее время выделяют такие функции современного педагога, как: образовательная, воспитательная, ориентирующая, учебно-методическая, коммуникативная, организаторская, коррекционная, конструктивная, рефлексивная, исследовательская, стимулирующая и самообразовательная [3, с. 85].

Учитель как самоценная личность с его ценностными установками, мировоззрением и опытом часто находится на периферии изучения педагогической науки. С уверенностью можно утверждать, что он воспринимается в качестве механизма, исполняющего требования образовательного стандарта. В то время как педагог является носителем не только определенной суммы знаний, но и традиций, культуры, педагогического опыта, что характеризует его как самоценную личность [4; 5].

На наш взгляд, формирование профессионального самоопределения и самосознания будущих педагогов тесно взаимосвязано с мотивами поступления абитуриентов на педагогическое направление подготовки. Еще на начальном этапе поступления в вуз необходимо осуществлять отбор будущих студентов. Престиж профессии «учитель»

в данном случае должен играть важнейшую роль при выборе ими специальности. Стоит отметить, что существуют абитуриенты, которые целенаправленно поступают на педагогическое направление, движимые любовью к детям, интересом к учительской профессии, преемственностью поколений, дальнейшим применением педагогических знаний для эффективного воспитания собственных детей. В то же самое время некоторые выпускники вынуждены выбирать педагогический вуз по причине низкой платы за обучение, стремления получить хоть какое-то высшее образование или возможности отсрочить призыв в армию (в случае молодых людей). Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о том, что мотивация поступления абитуриентов на педагогическое направление весьма различна и зависит от многих факторов. Анализ многообразия внутренних и профессиональных мотивов в период обучения позволит выявить некоторые антропологические основания поступления в вуз будущих студентов. Таким образом, цель настоящего исследования – выявить и теоретически обосновать антропологические основания отбора абитуриентов на педагогические направления подготовки.

Материалы и методы исследования

Для исследования были привлечены обучающиеся первого курса по направлению подготовки 44.03.01 Педагогическое образование (бакалавриат) ($n = 52$). Для проведения исследования была выбрана методика С.А. Пакулиной и С.М. Кетько. Ее сущность заключается в том, что исследованию подвергается группа мотивов внешней и внутренней мотивации обучающихся, которая подразделяется на мотивы, определяющие деятельность учения в прошлом (преобладающие мотивы поступления в вуз), в настоящем (реально действующие мотивы обучения) и в будущем (мотивы профессиональной деятельности). При этом внешняя мотивация состоит из внешних мотивов поступления в высшее учебное заведение, узких познавательных мотивов, irrelevantных профессиональных мотивов; внутренняя мотивация представляет собой группу внутренних мотивов поступления в педагогический вуз, широких учебно-познавательных мотивов и мотивов самообразования, релевантных профессиональных мотивов [6]. Каждая группа мотивов обладает присущими ей характеристиками и определяет их взаимосвязь внутри группы. Кроме этого, в качестве статистического метода применялся корреляционный анализ для определения взаимосвязи между

компонентами внешней, внутренней и профессиональной мотивации. Таким образом, для выявления антропологических оснований отбора абитуриентов на педагогические направления подготовки анализировалась внешняя и внутренняя группа мотивов и их взаимосвязь с профессиональными мотивами, сконцентрированная на исследовании причин поступления в вуз.

Результаты исследования и их обсуждение

Проведение диагностики у обучающихся первого курса бакалавриата по направлению подготовки 44.03.01 Педагогическое образование (бакалавриат) показало следующие результаты исследования внутренней и внешней мотивации испытуемых (таблица).

Ведущими выступают реально действующие мотивы учения, причем они являются одинаковыми как на уровне внутренней, так и внешней мотивационной сферы (75%). Далее в мотивационной иерархии студентов расположились профессиональные мотивы (72%), и на последнем месте мотивы поступления в вуз (69% и 42% соответственно). Таким образом, первый год обучения является наиболее благоприятным для форми-

рования у студентов устойчивой мотивации учения на следующих курсах обучения [6].

Наибольший интерес представляют для нас мотивы поступления в вуз. Рассмотрим их подробнее. На рисунке 1 представлен анализ аспектов внешней мотивации студентов, оказавших влияние на принятие решения поступить в педагогический университет.

Это мотивы, которые были образованы посредством стимулов, не относящихся к учебной деятельности. Согласно полученным эмпирическим данным, наиболее значимым выступил мотив бесплатного поступления и низкой платы за учебу (42%). Далее самым важным оказался престиж и авторитет вуза (27%). 12% опрошенных стремятся прожить беззаботный период жизни в годы студенчества. На среднем уровне значимости оказались также престиж, авторитет вуза (54%) и семейные традиции, желание родителей (48%). Низкий уровень значимости для студентов имел совет друзей и знакомых (81%). Также достаточно большой процент поступивших (33%) руководствовались случайностью, то есть педагогическое направление было выбрано ими по остаточному принципу.

Результаты исследования внутренней и внешней мотивации учения студентов 1 курса

Мотивация	Мотивы поступления в вуз, %	Реально действующие мотивы учения, %	Профессиональные мотивы, %
Внутренняя	69	75	72
Внешняя	42	75	72

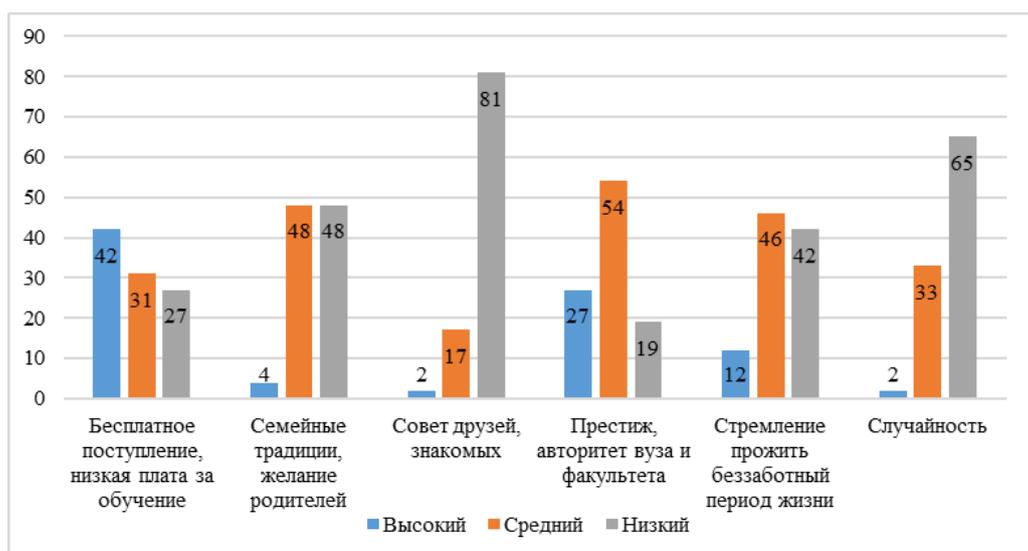


Рис. 1. Внешняя мотивация студентов 1 курса направления подготовки 44.03.01 Педагогическое образование, %

Для выявления связи между компонентами внешней мотивации был проведен корреляционный анализ. Согласно полученным данным, большинство мотивационных аспектов являются независимыми величинами (r_{xy} от 0,021 до 0,236), следовательно, этот факт дает нам возможность влиять на каждый из компонентов по отдельности. Умеренная положительная связь существует между «желанием родителей» и «стремлением прожить беззаботный период жизни» ($r_{xy}=0,447$). Можно предположить, что обучающийся, который руководствовался одобрением родителей при поступлении в вуз, рассчитывал на то, что проведет этот период легкомысленно и беспечно. И, наоборот, при отсутствии желания брать на себя ответственность студент действовал соответственно с волей родителей. Между «авторитетом, престижем вуза» и «случайностью» присутствует умеренная отрицательная корреляция ($r_{xy}=-0,344$), то есть будущий педагог, выбравший для поступления престижный университет, уменьшил вероятность случайного попадания в конкретный вуз, что говорит об осознанном подходе к выбору педагогического направления подготовки в конкретном университете.

Таким образом, главную роль при выборе вуза у студентов играют мотивы бесплатного обучения (низкой стоимости оплаты обучения), авторитет, престиж вуза, семейные традиции (желание родителей) и стремление

провести беззаботно студенческие годы. При этом наблюдается положительная связь между «семейными традициями либо желанием родителей» и «намерением прожить беззаботный период жизни» ($r_{xy}=0,447$), а также обратная умеренная корреляция, относящаяся к престижу вуза, его авторитету и случайному выбору обучающегося ($r_{xy}=-0,344$).

Наибольший интерес для нашего исследования представляют компоненты внутренней мотивации, заключающиеся в личных интересах студента, его заинтересованности и желании самореализоваться в будущей профессии (рис. 2).

Доминирующим стимулом является желание получить высшее образование (58% – высокий уровень значимости и 36% – средний уровень). Несмотря на это, вторым по уровню значимости (средний уровень) выступает интерес к профессии педагога (56%). От общения с детьми получают удовольствие 40% испытуемых, еще 50% проявляли способности именно в педагогической области деятельности. Полученные данные свидетельствуют о том, что наравне с желанием получения высшего образования студентами при поступлении на педагогическое направление подготовки двигал интерес к получению профессии учителя, выраженное желание общения с детьми и наличие определенных способностей в педагогической деятельности.

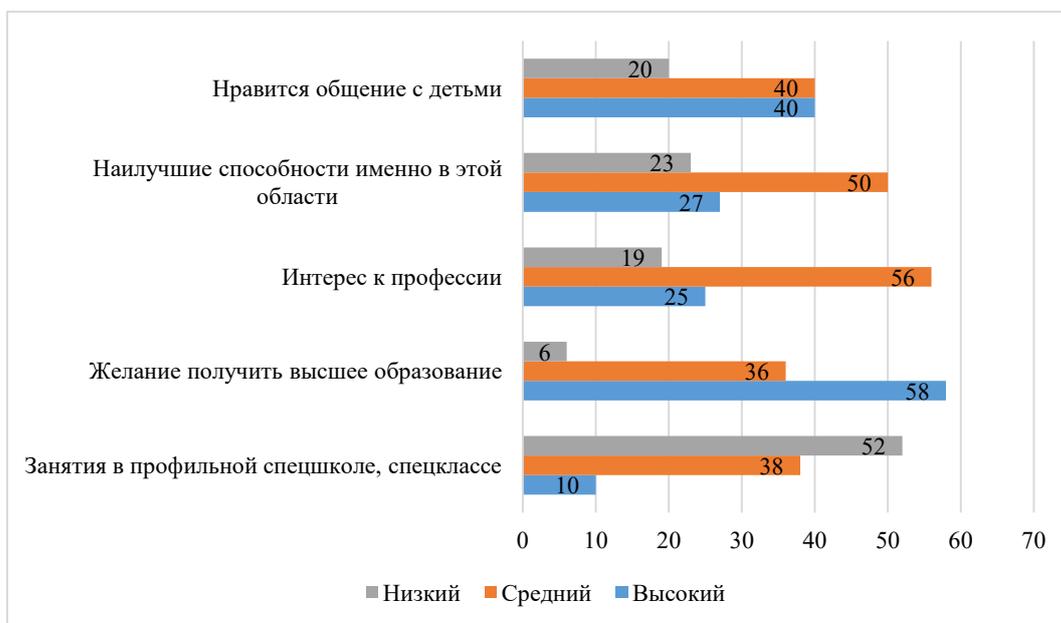


Рис. 2. Внутренняя мотивация студентов 1 курса педагогического направления подготовки, %

Тесная корреляционная связь была получена между компонентами «нравится общение с детьми» и «наилучшие способности в педагогической области» ($r_{xy}=0,667$); «нравится общение с детьми» и «интерес к профессии» ($r_{xy}=0,719$). Кроме того, заметная положительная корреляция существует между показателями «наилучшие способности в педагогической области» и «интерес к профессии» ($r_{xy}=0,665$). Следовательно, чем более значительным и важным для студента представляется общение с детьми, тем выше его заинтересованность в профессии педагога. Помимо этого, перед поступлением в вуз обучающийся проявляет в коммуникации с ребенком хорошие способности, и, как следствие, увеличивается его интерес к педагогической деятельности, что является толчком к поступлению в соответствующий вуз.

Далее была выявлена тесная корреляционная связь между компонентами внешней и внутренней мотивации. Результаты корреляционного анализа свидетельствуют о наличии как обратной, так и прямой корреляции между компонентами двух видов мотивации, внешней и внутренней. Так, некоторые студенты при случайном выборе вуза менее всего проявили интерес к профессии педагога либо чем выше был их интерес к педагогике, тем меньше выбор падал на случайный выбранный университет ($r_{xy} = -0,66$). «Престиж вуза» умеренно коррелирует с такими компонентами мотивации, как «нравится общение с детьми» ($r_{xy}=0,39$), «интерес к профессии» ($r_{xy}=0,38$), «желание получить высшее образование» ($r_{xy}=0,45$). Увеличение роста данных показателей влечет за собой желание обучающегося выбрать наиболее авторитетное и подходящее высшее учебное заведение для получения необходимых знаний.

Мотивы поступления в вуз неразрывно связаны с внутренними релевантными профессиональными мотивами. Релевантный мотив соотносится с выбором профессии педагога и удовлетворенностью ею и предполагает у обучающихся наличие интереса именно к знаниям, умениям и навыкам в области педагогики [6]. Так, например, наиболее значимыми релевантными профессиональными мотивами оказались показатели «самореализации» – 50% опрошенных, «желания основать свое дело» – 42% и «работы в частной организации» – 50%. То есть будущие педагоги готовы применить полученные знания при создании собственного дела, работе в частной организации, в качестве которой могут выступить, например, частные школы, детские сады и т.д. 56% обучающихся, проявивших интерес к про-

фессии педагога при поступлении, в дальнейшем смогут самореализоваться в сфере педагогической деятельности, а наилучшие способности в области педагогики помогут им организовать собственное дело в области образования и сделать его успешным.

Это предположение подтверждают результаты корреляционного анализа. Компоненты внутренних релевантных профессиональных мотивов показали положительную связь с показателями внутренней мотивации. Например, положительная корреляционная связь наблюдается по следующим параметрам: «достижение социального признания и уважения» – «интерес к профессии» ($r_{xy}=0,455$), «желание получить высшее образование» ($r_{xy}=0,386$) – «заинтересованность в коммуникации с детьми» ($r_{xy}=0,465$), «самореализация» – «интерес к профессии» ($r_{xy}=0,434$) и «желание получить высшее образование» ($r_{xy}=0,458$), «работа в частных организациях» – «заинтересованность в общении с детьми» ($r_{xy}=0,632$) и «интерес к профессии» ($r_{xy}=0,496$). Таким образом, корреляционный анализ подтверждает, что многие студенты готовы в дальнейшем строить карьеру в педагогической сфере деятельности и применять полученные знания на практике.

Заключение

Нами были проведены только некоторые параллели между взаимосвязью внешних и внутренних мотивов поступления в педагогический вуз и релевантными профессиональными мотивами, которые могут иметь место при выборе профессии педагога и в дальнейшей профессиональной педагогической деятельности.

Результаты анализа эмпирических данных показали, что процент мотивированных поступающих на педагогические направления подготовки находится на среднем уровне. Антропологические основания отбора абитуриентов включают в себя:

- исследование влияния внешних компонентов мотивации будущего педагога;
- изучение внутренних мотивов обучающегося;
- анализ будущих профессиональных стимулов будущего учителя.

На наш взгляд, для подбора наиболее мотивированных обучающихся необходимо разработать критерии отбора абитуриентов на педагогические направления подготовки. Среди них можно предложить использовать при поступлении:

- олимпиаду школьников для желающих получить профессию учителя;
- конкурс портфолио;
- написание эссе / собеседование.

Олимпиада может проводиться в 10-11 классах, когда учащиеся определяются с выбором будущей профессии. Ее определенный статус позволит абитуриентам получить дополнительные баллы при поступлении на педагогические направления подготовки. При этом олимпиаду стоит соотносить с тем предметом, который бы будущий студент хотел преподавать в школе, то есть она должна быть профильной и давать определенные преимущества при поступлении.

Кроме того, важен конкурс портфолио, который помогает учитывать то, насколько абитуриент был задействован в общественной жизни школы, степень его участия в различных мастер-классах, конкурсах, проектной и научной деятельности. Вышеперечисленные факты позволят выявить активность будущего студента, его энтузиазм, степень вовлеченности в общественную школьную жизнь, что является немаловажным для будущего учителя.

При поступлении на бакалавриат использование эссе или собеседования с абитуриентом, проявившим желание поступить на педагогическое направление подготовки, может быть полезным для определения мотивации, заинтересованности в профессии учителя. Это дало бы возможность на на-

чальном этапе выявить замотивированных абитуриентов.

Список литературы

1. Эксперты ОНФ: Дефицит учителей в российских школах за год увеличился. URL: [Электронный ресурс]. URL: <https://onf.ru/2019/06/24/eksperty-onf-deficit-uchiteley-v-rossiyskih-shkolah-za-god-velichilsya/> (дата обращения: 14.04.2022).
2. Независимая газета. Предварительные итоги программы «Земский учитель» неоднозначны. [Электронный ресурс]. URL: https://www.ng.ru/education/2020-03-11/8_7814_education2.html (дата обращения: 14.04.2022).
3. Татаринцева Ю.А. Изменения профессиональных функций учителя в современной школе // Проблемы современного образования. 2020. №1. С. 84-88. DOI: 10.31862/2218-8711-2020-1-84-88
4. Габдулхаков В.Ф. Антропология современного педагогического образования: от традиций к инжинирингу доказательной педагогики // Антропология детства в цифровую эпоху: воспитание, обучение, развитие: сборник статей и методических материалов XIV Международной научно-практической конференции (Казань, 26 марта 2021 г.). Казань: Издательство Казанского университета, 2021. С. 3-7.
5. Габдулхаков В.Ф., Зиннурова А.Ф. Педагогические условия реализации образовательного инжиниринга в высшей школе // Современные проблемы науки и образования. 2021. № 1. URL: <https://science-education.ru/article/view?id=30447> (дата обращения: 15.04.2022). DOI: 10.17513/spno.30447.
6. Пакулина С.А., Кетько С.М. Методика диагностики мотивации учения студентов педагогического вуза // Психологическая наука и образование psyedu.ru. 2010. Том 2. № 1. С. 1-11. [Электронный ресурс]. URL: https://psyjournals.ru/psyedu_ru/2010/n1/26655.shtml (дата обращения: 14.04.2022).

УДК 796/799

КОНЦЕПЦИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТРЕНИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА И РАЗВИТИЯ ПЛАВАНИЯ В ЛАСТАХ

Дудченко П.П.

*ФГБОУ ВО «Тульский государственный педагогический университет им Л.Н. Толстого»,
Тула, e-mail: info@tspu.ru*

В статье представлена попытка изложения концепции совершенствования тренировочного процесса и развития плавания в ластах. Также рассмотрены основные системы тренировочного процесса подготовки пловцов в ластах с целью осмысления, уточнения и упорядочения для дальнейшего определения задач на пути совершенствования. Концепция подготовки пловцов в ластах представляет собой взаимосвязь систем подготовки, материального обеспечения, восстановления, отношений тренер – спортсмен, систем контроля, коррекции и моделирования спортивного результата. Исходным показателем функционирования представленной концепции является высокий спортивный результат. Виды спортивной подготовки представлены в единстве и во взаимосвязи и образуют систему подготовки, которую определяет руководитель на основе тренировочных моделей. Также тренеру как руководителю процесса подготовки, помимо контроля, дано право корректировки системы подготовки. Система подготовки рассматривается как гибкий процесс, который меняется в зависимости не только от итогов контроля над результатом, а также от условий тренировки. Научной новизной является определение значимости отбора основного вещественного носителя спортивного результата для разработки моделей тренировочного процесса. Практической значимостью проведенного исследования является представление методических рекомендаций по организации взаимодействия в рамках системы отношений тренер – спортсмен, учету при разработке моделей, особенностей спортсменов, особенно генетически заданных, и т.д. Также представлена информация о важности владения современными компетенциями при осуществлении тренерской деятельности, так как именно тренер является ядром функционирования концепции подготовки пловцов в ластах.

Ключевые слова: плавание в ластах, система подготовки пловцов в ластах, система отношений тренер – спортсмен, развитие плавания в ластах, значение моделирования в плавании в ластах

THE CONCEPT OF IMPROVING THE TRAINING PROCESS AND THE DEVELOPMENT OF SWIMMING IN FINS

Dudchenko P.P.

Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University, Tula, e-mail: info@tspu.ru

The article presents an attempt to present the concept of improving the training process and the development of swimming in fins. Also consider the main systems of the training process of training swimmers in fins in order to comprehend, clarify and streamline for further identification of tasks on the path of improvement. The concept of training swimmers in fins represents the interconnection of training systems, material support, recovery, coach-athlete relations, control systems, correction and modeling of sports results. The initial indicator of the functioning of the presented concept is a high sports result. Types of sports training are presented in unity and in interrelation and form a training system that is determined by the head on the basis of training models. Also, the coach as the head of the training process, in addition to control, is given the right to adjust the training system. The training system is considered as a flexible process that changes based not only on the results of control over the result, but also on the training conditions. The scientific novelty is to determine the significance of the selection of the main material carrier of the sports result for the development of models of the training process. The practical significance of the conducted research is the presentation of methodological recommendations on the organization of interaction within the framework of the coach-athlete relationship system, taking into account the development of models, especially genetically defined features of the athlete, etc. Information is also provided on the importance of possession of modern competencies in the implementation of coaching activities, since it is the coach who is the core of the functioning of the concept of training swimmers in fins.

Keywords: swimming in fins, the system of training swimmers in fins, the coach-athlete relationship system, the development of swimming in fins, the importance of modeling in swimming in fins

Плавание в ластах в России как дисциплина подводного спорта более чем за 40 лет прошла сложный путь развития. Изначально плавание в ластах было представлено в программе соревнований в комплексе с нырянием в длину на скорость, подводным ориентированием и подводными работами. Одна из первых международных организаций, которая регламентировала порядок обучения, условия погружения и максимальные глубины для безопасного занятия

дайвингом – это Всемирная конфедерация подводной деятельности (Confederation Mondiale des Activites Subaquatiques – CMAS), созданная в 1959 г. Она объединила в себе множество независимых национальных федераций, которые пытались обучать подводному плаванию желающих, кроме того, CMAS были введены общие для всех стандарты обучения и тренировки, а также лимиты для получения лицензий подводного пловца и программы соревнова-

ний. Результаты, как было ранее отмечено, определялись по принципу многоборья. Эволюция развития подводного спорта привела к разделению в 1969 г. подводного многоборья на два вида: подводное ориентирование и скоростные виды подводного спорта. В дальнейшем стали проводиться также соревнования и по спортивной подводной стрельбе, подводной охоте, плаванию в ластах на длинные (марафонские) дистанции, подводным единоборствам – акватлону, и подводным играм – регби и хоккею [1].

В Советском Союзе в 1956 г. была организована первая секция спортсменов-подводников. В 1958 г. на берегу Черного моря проведены первые всесоюзные соревнования по подводному спорту. Вскоре были определены основные направления, по которым развивался этот вид спорта: плавание в ластах с трубкой, подводное плавание с аквалангом, ныряние и подводное ориентирование. В 1959 году была создана Федерация подводного спорта СССР (ФПС СССР), а в 1962 году подводный спорт включен в Единую всесоюзную спортивную классификацию. К 1990 году в СССР 2500 спортсменам-подводникам было присвоено звание «Мастер спорта». В 1965 году ФПС СССР вступает в СМАС.

Сразу же после принятия решения о проведении международных соревнований самого высокого ранга лидерами в подводном спорте стали советские спортсмены, которые и выступили авторами подавляющего большинства мировых рекордов в таблице СМАС, однако в настоящее время можно наблюдать, что на международных соревнованиях лидирующие позиции систематически занимают представители европейских и азиатских стран, что также сказывается на статистике мировых рекордов. На основании такого положения можно судить о необходимости совершенствования тренировочного процесса пловцов в ластах. Тренировочный процесс строился на основе системы подготовки пловцов в ластах, опубликованной В.П. Поповым в методическом издании 1982 г. «Подготовка спортсменов подводников высокой квалификации» [2].

В настоящее время плавание в ластах является основной дисциплиной подводного спорта. Данный вид спорта является базовым во многих регионах. Подводный спорт входит в реестр видов спорта в Министерстве спорта России, и соответственно пловцам в ластах присваивают массовые разряды и спортивные звания. При анализе единых календарных планов по плаванию в ластах видно, что проводится большое количество спортивных соревнований как всероссийского, так и международного

уровня. Однако можно наблюдать недостаточно информативную базу, посвященную проблемам подготовки высококвалифицированных пловцов-подводников. Поэтому разработка методик подготовки спортсменов-подводников высокого класса является актуальной задачей с целью сохранения высоких лидирующих позиций спортсменов – пловцов в ластах на международных соревнованиях, а также для более системного роста квалификации от начинающего спортсмена до мастера спорта.

Предполагается, что представленная концепция совершенствования тренировочного процесса, основанная на научном подходе, позволит повысить эффективность ранее разработанной системы подготовки спортсменов-подводников высокой квалификации.

Цель исследования – выдвинуть концепцию совершенствования тренировочного процесса и развития плавания в ластах.

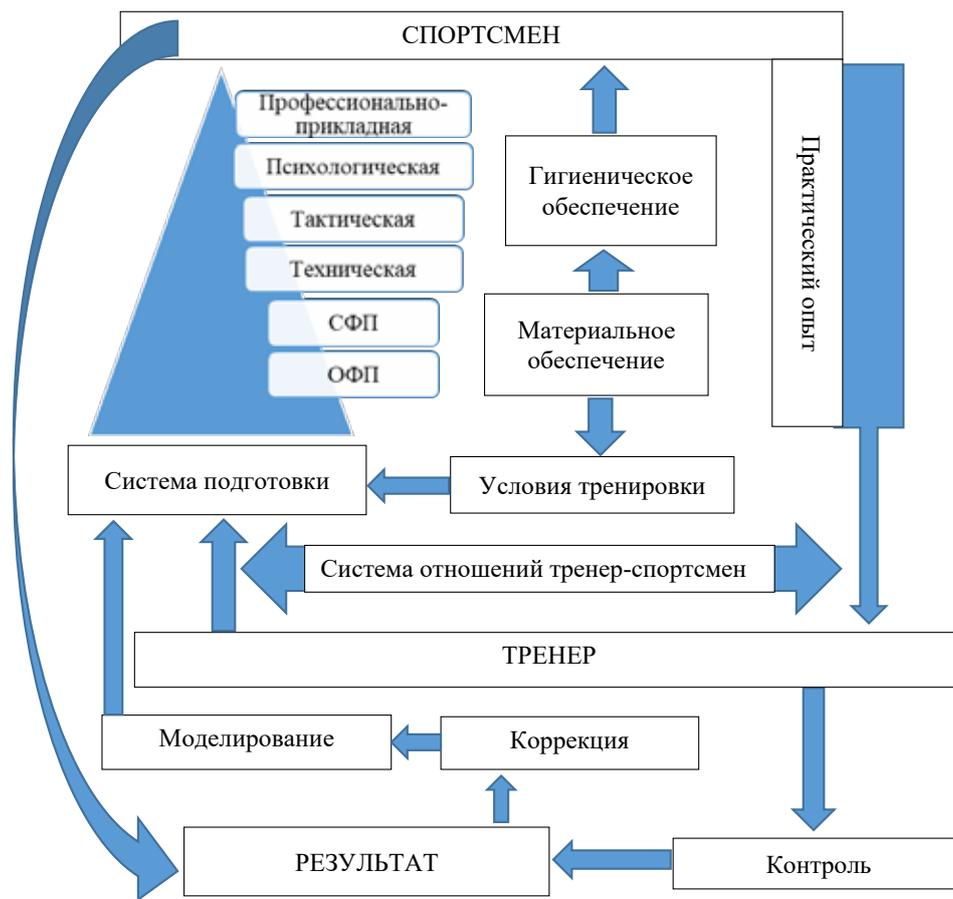
Материал и методы исследования

Результаты исследования сформированы на основе анализа специализированных доступных литературных источников, а также опросов ведущих тренеров, представителей Всероссийской федерации подводного спорта и руководителей её отделений, экспериментальной тренерской работы по подготовке пловцов в ластах.

Результаты исследования и их обсуждение

Достижение уровня мастера спорта и более высоких спортивных показателей на основании учета конкуренции и современных требований Единой всероссийской спортивной квалификации является производным научно обоснованной и грамотно реализованной системы работы с пловцами в ластах. Концепция подготовки пловцов в ластах – это процесс направленного воздействия ряда тренировочных факторов и механизмов восстановления, направленных на достижение максимального спортивного результата относительно конкретного спортсмена или однородной группы спортсменов. По мнению Л.П. Матвеева, основные из этих факторов заключены в спортивной тренировке, а спортивная тренировка включает в себя те компоненты подготовки спортсмена, которые достигаются на основе упражнений [3].

Понятие концепции подготовки спортсменов более широкое, имеет структурный характер и состоит из ряда систем: система подготовки, система материального обеспечения, система восстановления, система отношений тренер – спортсмен, система контроля, коррекции и моделирования спортивного результата (рисунок).



Система тренировочного процесса пловцов в ластах

Рассмотрение концепции подготовки пловцов в ластах целесообразно начать с исходного результата ее функционирования. Следует обозначить, что спортивный результат понимается в самом обширном значении. Имеется в виду, что итогом деятельности является не только демонстрация спортивных достижений, но и становление личности спортсмена, сочетающей в себе духовное богатство, моральную чистоту и физическое совершенство. Главной единицей функционирования концепции является спортсмен, который рассматривается как вещественный носитель результата и самый важный структурный элемент.

Без сомнения, является фактом, что не достойная кандидатура спортсмена – поставленной модели выхода на итоговый результат станет причиной срыва дорогостоящей деятельности всей структуры концепции. Для исключения такой проблемы должен применяться основанный на утвержденных принципах спортивный отбор. В настоящее время задачи спортивного отбора решаются постепенно в рамках тренировочных циклов. Можно наблюдать,

что существующий отбор спортсменов, который происходит путём «естественного отбора», и является определяющим отбором при работе с пловцами в ластах. Однако такой подход приводит к неоправданному росту материальных затрат и низкой эффективности работы. Одним из путей решения такой проблемы предлагается разработка модельных характеристик. Также необходимо учитывать факторы, определяющие эффективность работы системы подготовки пловцов в ластах. Модельные характеристики должны основываться на наиболее существенных показателях, способствующих достижению высоких спортивных результатов в плавании в ластах [4].

Основной задачей концепции подготовки пловцов в ластах является разработка моделей спортивных возможностей (функциональных, морфологических и психических), а также подбор методов прогнозирования таких возможностей на всех этапах тренировочного процесса при работе с уровнем спортсмена, начиная с новичка и до высокого класса. Проведенные исследования позволяют утверждать, что уже в раннем

возрасте начинают проявляться задатки к данному виду спорта, и необходимо учитывать тот факт, что они являются генетически обусловленными, т.е. наследуемыми.

В настоящее время при работе со спортсменами, особенно в тех видах спорта, которые входят в программу Олимпийских игр, в теории и методике спорта широко используется ряд методов прогнозирования и моделирования спортивного результата. Так, в циклических видах спорта, связанных с преимущественным проявлением выносливости (плавание, бег), функциональные возможности организма предсказывают по величине максимального потребления кислорода, содержанию гемоглобина, лактатдегидрогеназы, эритроцитов в крови и т.д. Будущие морфологические показатели прогнозируют по рентгенограмме кисти спортсмена, длине кисти и стопы, другим признакам, по наследственности при анализе таких показателей у родителей спортсмена и т.д. Не остается в стороне и высокое значение модели подготовки и отбора спортсменов на основе психических возможностей, которая сопоставляет данные о психологических особенностях личности спортсмена. Можно наблюдать, что в последнее время данный вопрос все больше привлекает внимание специалистов во всем мире. Его актуальность доказана рядом значимых исследований и обусловлена высокой практической значимостью относительно прогнозирования уровня спортивных достижений в острой конкуренции, предъявляющих высокие требования к психологической подготовленности спортсмена, так как личностные качества в определенной мере являются наследуемыми, и уже на этапе начальной подготовки можно осуществлять отбор. Также на основании таких заключений можно определить критерии отбора, среди которых должны выступать и психические особенности современных чемпионов.

На основании проведенных нами ранее исследований по изучению психологических особенностей пловцов в ластах было определено, что преимущество имеют спортсмены, которым присущ слабый тип нервной системы, инертность процесса возбуждения, инертность процесса торможения, преобладание торможения по внешнему балансу, преобладание возбуждения по внутреннему балансу, повышенный уровень агрессивности, хороший самоконтроль, стремление к соперничеству и превосходству, лидерству, высокая эмоциональная устойчивость [5].

Следующий важный элемент концепции подготовки пловцов в ластах – тренер. Тренер является ядром функционирования представленной концепции. На нем замы-

каются системы, которые обеспечивают процесс подготовки, также он контролирует тренировочную ситуацию, и ему дано право выбора системы подготовки. Таким образом, непосредственно тренер реализует контроль и управление системой подготовки спортсмена. Для действенного функционирования концепции подготовки тренер обязан владеть рядом необходимых компетенций и также обладать необходимыми психолого-педагогическими качествами. На основании доступных литературных источников можно сделать вывод, что изучением компетентности тренеров начали активно заниматься в последнее время, и было определено, что немногие специалисты обладают необходимыми качествами, а многие даже не соответствуют должной квалификации. Известна важность эффективного управления тренировочным процессом – а это самая сложная и живая система, в процессе которой можно не только не достичь желаемых результатов, но и нанести необратимый вред здоровью, а иногда, как показывает практика, и довести до смертельного исхода. Поэтому специалист по подготовке должен иметь высокий уровень образованности, позволяющий понимать сущность научных выводов и рекомендаций множества смежных наук, имеющих отношение к подготовке пловцов в ластах. Кроме того, как отмечалось ранее, педагогу необходимо обладать глубокими профессиональными знаниями, умениями и навыками. Он также обязан постоянно развиваться и искать пути к самосовершенствованию, и для успешной реализации концепции подготовки пловцов в ластах от тренера требуются высокие организаторские способности. Владение нужными организаторскими компетенциями является основой для дальнейшего успеха. Одним из нужных качеств в практической деятельности тренера является твердость в своих решениях. По мнению тренера из США по плаванию Дж. Артура, «...из нерешительных Гамлетов выходят никудышные тренеры». Среди известных специалистов по подготовке пловцов в ластах можно наблюдать тренеров с абсолютно противоположными качествами личности. Например, грубых или, наоборот, очень воспитанных, умеющих быть твердыми, не повышая голоса, и т.д. Современные условия работы со спортсменами убедительно показывают, что высокий результат формируется в ходе длительного тренировочного процесса, когда постоянно происходит взаимодействие отношений тренер – спортсмен. В рамках этой системы тренер должен обладать умениями наладить правильные межлич-

ностные отношения. В рамки отношений тренер – спортсмен также входит взаимодействие внутри спортивного коллектива, с администрацией спортивной организации, спортивного сооружения и родителями спортсменов, тренер должен учитывать, контролировать и корректировать взаимоотношения с целью избегания конфликтных ситуаций. Для реализации адекватной ситуации достижение высокого спортивного результата возможно при владении оптимальным для конкретного контингента и конкретной ситуации стилем руководства. По этому критерию различают тренеров «автократов», «демократов» и «либералов» [6].

Специалисты, которым свойственен авторитарный стиль руководства, как правило, жесткие, властные люди, не терпящие возражений, при работе со спортсменами не допускают их самостоятельности. Так, работников характеризует требовательность к окружающим, прямота, принципиальность, самоуверенность, вспыльчивость и несдержанность. Тренировочные занятия у таких специалистов организованы на высоком уровне. Из форм общения преобладают неодобрение и замечания. Тон чаще иронический и резкий. Для таких тренеров нетипично побуждение спортсменов к инициативе, самостоятельности, тренер всегда сам решает и дает указания на реализацию своим ученикам при возникновении различных вопросов. Установленный факт, что у таких специалистов успеха добиваются спортсмены, которым присущи уравновешенность в эмоциональном фоне, покладистость, неагрессивность, также установлено, что спортсмены, которым свойственны противоположные личностные качества, в конечном итоге покидают группы. Однако замечено, что по мере взросления спортсмена, роста его квалификации тренеры-автократы начинают считаться со своим спортсменом, общаются на равных, меняют стиль руководства, а в том случае, если тренер по-прежнему не считается со спортсменом как с личностью, то между ними назревает конфликт.

Специалисты, которым присущ демократический стиль руководства, прибегают к принятию коллективных решений. Они не принимают безапелляционных решений, более терпимы к неудачам и промахам своих учеников. Таких специалистов характеризует требовательность к себе и непротиворечивость. В форме общения со спортсменами можно наблюдать указания, одобрения и вопросы, редко можно увидеть, как они применяют замечания и неодобрение. При общении можно наблюдать преимущественно приветливый тон.

Специалистов, которым присущ либеральный стиль руководства, характеризует спокойствие, вежливость, тактичность, добродушие, сдержанность, необидчивость, приветливость и т.д. При работе со спортсменами можно наблюдать, что они чаще всего используют вопросы и одобрения. Неодобрений в 6 раз меньше, чем у автократов, и в 3 раза меньше, чем у демократов (П.В. Прохоров, 1972). Таких специалистов практически всегда мало интересуют дела своих учеников. Такой стиль работы специалисты еще называют попустительским. Можно наблюдать, что у тренеров-либералов часто очень благоприятные отношения с администрацией, коллегами и родителями спортсменов, но конфликтные с учениками. По мнению специалистов социальной психологии, либералы, в сравнении с тренерами-автократами и демократами, получают самую низкую оценку учеников. По-видимому, недостаточный уровень требовательности и является той самой причиной проявления негативизма от воспитанников [7].

Важным моментом хочется отметить личностные качества тренера, которые так ценят ученики. Проведенные ранее исследования показали, что наиболее высоко оценивается спортсменами требовательность тренера, особенно если она сочетается с чуткостью. Следующими качествами названы внимательность и заботливость, проявляемые ко всем спортсменам группы, а также трудолюбие.

Тренер и спортсмен, как уже было отмечено, являются главными элементами представленной концепции тренировочного процесса, которые образуют систему управления, где тренер является руководителем, а спортсмен – подчиненным; эти элементы связаны не только системой отношений, но и системами подготовки и системой обратной связи – получения дорожного опыта тренера. Передача информации от тренера к спортсмену является прямой связью, а от спортсмена к тренеру – обратной. Работа концепции подготовки пловцов в ластах осуществляется в форме тренировочного процесса, т.е. целенаправленной деятельности по выведению спортсмена на высокий результат, и такая деятельность основана на обучении и воспитании [8].

В представленной концепции подготовки пловцов в ластах выделено два уровня функционирования. Один из них является основным и образует систему тренер – спортсмен, (т.е. непосредственно сам процесс спортивной тренировки), а другой элемент – это уровень обеспечения, без которого неосуществима инертность тренировочного процесса. Конечный элемент

содержит аспекты материального и информационного обеспечения. Аспектами материального обеспечения являются: финансирование, создание условий тренировки, учёбы, быта и т.п. Здесь также реализуются мероприятия по обеспечению тренировочной базы специализированным инвентарем, спортивной формой т.п. и решаются задачи по гигиеническому обеспечению, т.е. по организации оптимального режима дня, питания, отдыха, восстановительных мероприятий с использованием естественных факторов окружающей среды и др. [9].

Система подготовки основывается на принципиальном подходе с постоянным информационным научным обеспечением, т.е. обуславливает современный научный подход к подготовке спортсмена. Основной задачей является разработка наиболее эффективных средств и методов тренировочных воздействий, вооружение тренеров современными методами учёта, контроля и управления. Роль научного подхода при реализации аспектов тренировки очень высока, так как ошибки, допущенные в управлении подготовкой спортсмена, могут быть непоправимы и приводят к негативным результатам. Несомненно, эти вопросы могут быть решены только при наличии вдумчивого научного подхода [10].

Заключение

В заключение следует отметить, что, характеризуя представленную концепцию подготовки пловцов в ластах высокой квалификации, можно сделать вывод, что спортивный результат достигается только при комплексной работе взаимосвязанных систем и что ни один из представленных аспектов не может гарантировать достижение высокого результата, зато

его выпадение, высоко вероятно, приведет к срыву спортивной подготовки в целом. Всё вышесказанное предполагает большую и сложную организационную, а также научно-методическую деятельность по разработке, внедрению и координации систем подготовки пловцов в ластах, которая планируется к реализации в дальнейшей работе.

Список литературы

1. Мясникова Т.И. Ретроспективный анализ мировых рекордов в мужском плавании в ластах // Ученые записки университета Лесгафта. 2016. № 7. С. 83-89.
2. Жданов В.В., Титов В.Б. История конструирования, патентования и производства спортивных ластов для плавания (1930-2020 г.) // Вестник Томского государственного университета История. 2021. № 70. С. 180-187.
3. Сауров Е.А., Морозов С.Н. Повышение специальной работоспособности высококвалифицированных подводников методом интервальной гипоксической тренировки // МНИЖ. 2021. № 2-3 (104). С. 118-122.
4. Худайберганов О.Э., Гулманов Х.К. Проблемы совершенствования системы подготовки спортсменов // Психология и педагогика: методика и проблемы практического применения. 2016. № 49-2. С. 163-167.
5. Шумаков А.В., Иваницкий В.В., Захарова Л.В. Педагогический контроль в системе подготовки спортсменов // Проблемы современного педагогического образования. 2018. № 58-1. С. 299-302.
6. Гусейнов А.Ш., Шиповская В.В., Жигунова Н.В. Психологическая культура как потенциал субъектности личности тренера // Физическая культура, спорт – наука и практика. 2018. № 2. С. 102-109.
7. Овечкина И.В. Изучение межличностных отношений в системе «Тренер – спортсмен» // Инновационная наука. 2017. № 2-2. С. 269-273.
8. Деминский А.Ц. Системный подход, как методологическая основа профессиональной подготовки тренера-преподавателя // Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports. 2009. С. 74-77.
9. Хорева О.Ю., Махов С.Ю. Способы восстановления в спорте // Наука-2020. 2017. № 1 (12). С. 43-50.
10. Плотников В.В. Характеристика системы управления подготовкой юных спортсменов // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2006. № 1. С. 185-187.

УДК 378.147

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ

Кожевникова Л.М., Оленцова Ю.А., Федорова М.А.

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, e-mail: tutor.eng@yandex.ru

В современных условиях внедрения в сферу среднего профессионального образования компетентного подхода и федеральных государственных образовательных стандартов нового поколения актуализировалось и возросло значение самостоятельной работы обучающихся. Общие компетенции, которые формируются при выполнении обучающимися самостоятельной работы, включают использование информационных образовательных технологий. Требования времени предполагают расширение сферы электронного обучения, соответственно возросло значение и необходимость применения в учебном процессе дистанционных образовательных технологий. Педагоги разрабатывают учебные курсы, используя возможности и инструментарию модульной среды LMS Moodle, подбирают и используют новые ресурсы и сервисы сети Интернет для реализации педагогических целей. С учетом траекторий цифровой трансформации образования, в частности необходимости персонализации обучения, активизировалась роль педагогов в мотивации обучающихся при выполнении ими самостоятельной работы, развития личностного потенциала студентов, умений и навыков самостоятельного мышления. Данные моменты приобретают особую значимость в процессе формирования готовности будущих выпускников к профессионально компетентной деятельности и перспективам личностного роста. Все новаторские цели и задачи вписываются в требования обеспечения качества образования. Исходя из этого, организация самостоятельной работы обучающихся СПО с применением дистанционных образовательных технологий в системе обеспечения качества образования предполагает разработку критериев оценки, проведения аналитики, анализа и синтеза, обобщения и сравнения промежуточных и итоговых результатов.

Ключевые слова: среднее профессиональное образование, обучающийся, компетенции, самостоятельная работа, дистанционные образовательные технологии, качество образования

DETERMINATION OF EFFECTIVENESS IN THE INDEPENDENT WORK ORGANIZATION FOR STUDENTS OF SECONDARY VOCATIONAL EDUCATION IN THE QUALITY ASSURANCE SYSTEM OF EDUCATION

Kozhevnikova L.M., Olentsova Yu.A., Fedorova M.A.

Krasnoyarsk state agrarian university, Krasnoyarsk, e-mail: tutor.eng@yandex.ru

Abstract. In modern conditions for the introduction of a competence-based approach and federal state educational standards of a new generation into the sphere of secondary vocational education, the importance of independent work for students has become more relevant and increased. The general competencies that are formed when students perform independent work include the use of information educational technologies. The requirements of the time imply the expansion of the field of e-learning, respectively, the importance and need for the use of distance learning technologies in the educational process has increased. Teachers develop training courses using the capabilities and tools of the modular LMS Moodle environment, select and use new Internet resources and services to implement pedagogical goals. Considering the trajectories of digital transformation of education, in particular the need to personalize learning, the role of teachers in motivating students when they perform independent work, the development of students' personal potential, skills of independent thinking has intensified. These moments are of particular importance in the process of forming the readiness of future graduates for professionally competent activities and prospects for personal growth. All innovative goals and objectives fit into the requirements of ensuring the quality of education. Based on this, the organization of independent work for of vocational education students with the use of distance learning technologies in the system of education quality assurance involves the development of evaluation criteria, analytic, analysis and synthesis, generalization and comparison of intermediate and final results. Accordingly, in this work, it is important and significant to develop response measures and updated adjustment programs considering achievements and innovations being introduced.

Keyword: secondary vocational education, student, competencies, independent work, distance learning technologies, quality of education

Повышение конкурентоспособности на рынке образовательных услуг – это приоритетная цель любой образовательной организации. Данная цель реализуется в рамках системы менеджмента качества, при этом механизм реализации может быть разно-сторонним. Организация образовательного процесса – сложная и многогранная работа

всего коллектива образовательной организации, включающая не только управление образовательным процессом, внедрение новейших методик и технологий в образовательный процесс, но и систему менеджмента качества образовательных услуг. Повышение качества образования невозможно без формирования продуктивного

мышления у обучающихся, данная задача может быть решена за счет оптимальной организации самостоятельной работы обучающихся с применением дистанционных образовательных технологий.

Цель исследования – изучить теоретические вопросы организации самостоятельной работы обучающихся среднего профессионального образования с применением дистанционных образовательных технологий. Определить результативность самостоятельной работы обучающихся среднего профессионального образования в системе обеспечения качества образования.

Материал и методы исследования

В качестве материала исследования использованы работы ведущих специалистов в данной области знаний, а также результаты наблюдений, опросов, анкетирования обучающихся-респондентов в рамках организации самостоятельной работы обучающихся СПО с применением ДОТ.

Результаты исследования и их обсуждение

В теоретическом ракурсе проблема организации самостоятельной работы обучающихся СПО с применением ДОТ активно исследуется. Изучение данной проблематики прослеживается в трудах представителей современного педагогического сообщества (В.И. Загвязинский, Т.И. Гречухина, В.С. Сенашенко, И.А. Зимняя и др.) [1-4].

Самостоятельная работа (СР) обучающихся в рамках получения среднего профессионального образования (СПО) приобрела особое значение с переходом к компетентностному подходу и реализации федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС) нового поколения. Компетентностный подход, как новая методологическая основа современного образования, ориентирован на формирование у обучающихся необходимых компетенций и повышение уровня качества образования будущего выпускника – профессионально компетентного специалиста. Отметим, что для каждой специальности актуальны свои компетенции. Они включены в ФГОС СПО и рассматриваются как набор компонентов (знать, уметь, владеть), необходимых для оценки готовности к избранной специальности, вероятности трудоустройства и конкурентоспособности будущих специалистов на рынке труда. В числе общего набора компетенций уделим внимание тем компетенциям, которые должны быть сформированы в процессе выполнения обучающимися самостоятельной работы, т.е. обеспечивают процессы

самообучения и саморазвития. В качестве базы исследования рассмотрен ФГОС СПО от 05.02.2018 г. по специальности 38.02.01 «Экономика и бухгалтерский учет (по отраслям)» [5], которая реализуется в ФГБОУ ВО «Красноярский ГАУ» на базе основного (общего) образования (табл. 1). У обучающихся данной специальности проводилось анкетирование с целью оценки результативности организации самостоятельной работы обучающихся.

Таблица 1

Общие компетенции, формируемые в результате организации самостоятельной работы обучающихся

Код	Наименование компетенции
ОК 01	Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам
ОК 02	Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности
ОК 03	Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие
ОК 05	Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста
ОК 09	Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности

Особая роль в современном образовании отводится использованию информационных технологий, вследствие чего введена компетенция ОК 09. Введение данной компетенции активизировало работу учебных заведений в расширении сферы внедрения ДОТ. С особым акцентом на выполнение установок статьи 2 п. 27 ФЗ от 29.12. 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» в сфере инклюзивного образования: «обеспечение равного доступа к образованию для всех обучающихся с учетом разнообразия особых образовательных потребностей и индивидуальных возможностей» [6].

Материалы исследования по организации самостоятельной работы обучающихся в системе СПО с применением дистанционных образовательных технологий в системе обеспечения качества образования рассматривались по трем составляющим:

- работа администрации и учреждения в целом;
- преподавательская деятельность педагога;
- оценка результативности организации самостоятельной работы обучающихся.

Работа администрации и учреждения оценивалась исходя из анализа процесса разработки и наполнения учебного процесса методическими указаниями и рекомендациями, которые выступают «ориентирами» для педагога и обучающегося.

Преподавательская деятельность педагога оценивалась по трем основным аспектам организации самостоятельной работы:

- выполнение заданий по самостоятельной работе на занятиях в аудитории с участием педагога и под его непосредственным контролем;

- выполнение заданий по самостоятельной работе вне аудитории без участия педагога;

- разработка критериев оценивания качества организации самостоятельной работы в динамике с корректировкой промежуточных итогов на занятиях.

Оценка результативности организации самостоятельной работы обучающихся осуществлялась исходя из полученных результатов текущего и промежуточного контроля с применением эмпирических методов исследования, в частности проведен анализ опросов и анкетирования обучающихся в целях выявления качества сформированности умений и навыков в результате выполнения ими самостоятельной работы посредством применения дистанционных образовательных технологий. Анкета, разработанная для обучающихся, включала следующие вопросы:

1. Как Вы понимаете термин «самостоятельная работа обучающихся»?

2. Какие виды самостоятельной работы Вам нравится выполнять?

3. Используйте ли Вы рекомендации педагога при выполнении заданий самостоятельной работы?

4. Способствует ли самостоятельная работа с применением дистанционных образовательных технологий развитию познавательного интереса?

5. Считаете ли Вы важной самостоятельную работу для обеспечения качества образования?

Опрос и анкетирование проводились в два этапа, с целью усиления научной значимости полученных результатов:

- в начале первого семестра, в октябре 2021/2022 учебного года;

- по итогам сессии, в конце первого семестра 2021/2022 учебного года.

Для осуществления сравнения результатов, полученных по итогам опроса и анкетирования, выделено три уровня сформированности умений и навыков вследствие выполнения самостоятельной работы с при-

менением ДОТ: низкий, средний и высокий (табл. 2).

У обучающихся проводилось анкетирование с целью оценки результативности организации самостоятельной работы с применением ДОТ, полученные результаты сравнивались на двух уровнях:

- на внутреннем уровне: в начале и в конце первого семестра 2021/2022 учебного года;

- на внешнем уровне: с результатами, отраженными в других аналогичных исследованиях.

В результате организации самостоятельной работы обучающихся, в рамках реализуемых дисциплин, получены результаты, отраженные в таблице 3.

По результатам, полученным в ходе оценки, наглядно прослеживается изменение отношения обучающихся к выполнению заданий самостоятельной работы. Применение общенаучных методов аналитики, анализа, синтеза, обобщения и сравнения позволило выделить и обозначить наиболее качественные показатели:

- проявление активности к изучению методических рекомендаций по выполнению определенных видов самостоятельной работы;

- повышение активности обращения к информационным ресурсам сети Интернет, к работе в электронных библиотечных и справочно-поисковых системах, в LMS Moodle;

- повышение активности и качества выступлений на практических занятиях;

- отмечен рост качества выполненных заданий;

- отмечен рост количества оценок «хорошо» и «отлично» по результатам тестирования;

- проявление интереса к выполнению творческих работ;

- рост активности работы в малых группах с оценочными выступлениями;

- проявление познавательного интереса.

Выявлено, что результативность организации самостоятельной работы достигнута преимущественно при активной работе педагогов, которая основывается на формировании мотивации обучающихся, внедрении в учебный процесс разноуровневых заданий и других форм вовлечения в самостоятельную работу. Именно в процессе такой работы педагогов обучающиеся понимают, что постепенно нарабатывается уровень знаний и навыков, позволяющий решать более сложные производственные задачи. Это придает им уверенность, стимулирует на успех, способствует развитию творческого потенциала.

Таблица 2

Уровни сформированности умений и навыков у обучающихся в ходе выполнения самостоятельной работы с применением ДОТ

Уровни сформированности умений и навыков	Характеристики уровня
Низкий	Низкая заинтересованность в выполнении заданий, обусловленная низким уровнем способности к самообразованию. Предложенные источники учебной литературы и информационные ресурсы изучены частично. Низкий уровень активности в использовании информационных ресурсов сети Интернет, электронных библиотечных и справочно-поисковых систем, электронной информационно-образовательной среды ФГБОУ ВО «Красноярский ГАУ», размещенной на платформе LMS Moodle. Студенты показывают низкий уровень качества ответов на практических занятиях. Тестирование выполнено с оценками «удовлетворительно» или «неудовлетворительно»
Средний	Проявление интереса к заданиям самостоятельной работы, к изучению методических «ориентиров» по выполнению определенных видов самостоятельной работы, к изучению учебной литературы, к информационным ресурсам сети Интернет, к работе в электронных библиотечных и справочно-поисковых системах, в LMS Moodle. Заинтересованность в консультациях педагогов. Проявление интереса к составлению и оформлению результатов. Не выражено стремление к повышению качества подготовки к практическим занятиям. Отсутствует или низкий уровень нацеленности на творческий и познавательный результат. Тестирование выполнено с оценками «хорошо» и «удовлетворительно»
Высокий	Выражение понимания значимости для наработки умений и навыков выполнения заданий самостоятельной работы при подготовке к практическим занятиям. Практические занятия выполнены с применением приобретенных знаний в ходе изучения теоретического материала, с достаточно высоким уровнем качества. Проявление активности к «ориентирам» по руководству видами самостоятельной работы, изучению источников периодической и учебной литературы, к информационным ресурсам сети Интернет, работе в электронных библиотечных и справочно-поисковых системах, в LMS Moodle. Наблюдается рост творческой активности и познавательного интереса у обучающихся. Тестирование выполнено с оценками «отлично» и «хорошо»

Таблица 3

Оценка результативности организации самостоятельной работы с помощью ДОТ по специальности 38.02.01 «Экономика и бухгалтерский учет (по отраслям)»

Уровни результативности организации СР	Основные результаты, %	
	на первом этапе, в начале 1 семестра 2021/2022 уч. г.	на последнем этапе, в конце 1 семестра 2021/2022 уч. г.
Низкий	54	16
Средний	34	56
Высокий	12	28

В виде одного из достигнутых качественных результатов можно выделить активизацию познавательного интереса, что оценено по количеству задаваемых вопросов в период проведения педагогом консультаций, кроме того, по количеству изученных источников размещения информации. По результатам опросов обучающихся СПО и анализа работы педагогов

выявлено, что студенты снизили активность участия в мобильном приложении TikTok или изменили в обращении к нему палитру интересов от шоу-бизнеса, развлекательных и эпатажных, провокационных роликов на ролики с изучением познавательных материалов и иностранного языка. Одновременно у обучающихся СПО обозначился интерес к возможному уча-

стию в учебных проектах и творческих конкурсах [7-10].

Сравнение собранных данных с результатами, полученными на внешнем уровне, осуществлялось на основе анализа материалов научно-практических конференций, педагогических чтений, авторских исследований. В целом они подтверждают изложенные выводы с акцентом на необходимость организации самостоятельной работы с применением ДОТ при учете специфики учебного заведения, специальности и личных качеств обучающихся и с ориентацией на обеспечение повышения качества образования.

Заключение

Организация самостоятельной работы получила особое внимание с переходом к компетентностному подходу и ФГОС нового поколения в образовании. Важную роль в ней играет применение дистанционных образовательных технологий. Их использование имеет значение в развитии познавательного интереса обучающихся и предоставляет множество возможностей в совершенствовании учебного процесса. На практике педагоги используют ДОТ различными способами: в теоретической и практико-ориентированной подготовке, с демонстрационными методами, с использованием программного обеспечения, информационно-телекоммуникационной сети Интернет, электронных библиотечных и справочно-поисковых систем, LMS Moodle. На занятиях студенты работают с использованием компьютерных программ и в социальных сетях с образовательными целями. Поэтому очевидно, что применение дистанционных образовательных технологий различного назначения в системе СПО предоставляет возможности для совершенствования содержания, методов, организационных форм, приемов и средств учебного процесса, кроме того, это является показателем повышения профессионализма педагогов, способствует развитию личностного потенциала и творческих способностей обучающихся. С точки зрения целевого назначения вписывается в систему обеспече-

ния качества образования с ориентацией на выпуск профессионально компетентного специалиста. В итоге проведенного исследования необходимо подчеркнуть, что организация самостоятельной работы обучающихся СПО с применением ДОТ в системе обеспечения качества образования требует перманентного изучения опыта и оценки эффективности с выделением позитивных и негативных достижений. На их основании в рамках реагирования можно разрабатывать актуализированные программы или осуществить необходимые корректировки с учетом среза полученных достижений и специфики внедряемых инноваций. Перспективно важным следует обозначить включение оценки результативности организации самостоятельной работы с применением ДОТ в систему менеджмента качества (СМК) учебного заведения.

Список литературы

1. Сенашенко В.С., Жалнина Н.В. Самостоятельная работа обучающихся: актуальные проблемы // Высшее образование в России. 2006. № 7. С. 103-109.
2. Загвязинский В.И. Теория обучения: Современная интерпретация. М.: Академия, 2007. 192 с.
3. Гречухина Т.И. Самостоятельная работа обучающихся: виды, формы, критерии оценки. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. 80 с.
4. Зимняя И.А. Основы педагогической психологии. М., 1980. 425 с.
5. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 № 273-ФЗ [Электронный ресурс]. URL: <http://ivo.garant.ru/#/document/70291362/paragraph/33> (дата обращения: 29.01.2022).
6. Макет ФГОС СПО 2021 для специальности // ФГБОУ ДПО «Институт развития профессионального образования». [Электронный ресурс]. URL: <https://firpo.ru/utverzhdennovaja-model-fgos-spo/> (дата обращения: 27.01.2022).
7. Аксарина Я.С. Применение педагогических инноваций при подготовке специалистов среднего звена // Среднее профессиональное образование. 2015. № 2. С. 45-48.
8. Пахно И.В. Внедрение инноваций в среднем профессиональном образовании: систематизация понятий // Среднее профессиональное образование. 2015. № 4. С. 3-8.
9. Воног В.А, Алексеева А.Б., Жавнер Т.В., Пономарева Е.А. Возможности электронных обучающих курсов для контроля учебной деятельности студентов в процессе обучения иностранному языку // Вестник КГПУ им. В.П. Астафьева. 2016. № 2 (36). С. 45-48.
10. Вайндоф-Сысоева М.Е., Грязнова Т.С., Шитова В.А. Методика дистанционного обучения: учебное пособие для вузов: [по всем направлениям]. М.: Юрайт, 2018. 193 с.

УДК 378.1

**НЕКОТОРЫЕ АКСИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
МОДУЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ
ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНО-ЛИЧНОСТНОГО РАЗВИТИЯ»**

¹Овчинникова Л.П., ²Михелькевич В.Н.

¹ФГОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения»,
Самара, e-mail: PLOvchin@yandex.ru;

²ФГОУ ВО «Самарский государственный технический университет»,
Самара, e-mail: J918@yandex.ru

По рекомендации кадровых служб транспортных предприятий и учреждений ОАО «Российские железные дороги» в 2020 г. в учебный план подготовки инженеров по специальности «Эксплуатация железных дорог» была включена учебная дисциплина «Психологические основы интеллектуально-личностного развития». Учитывая высокую степень корреляции содержания этой дисциплины и формируемых в процессе освоения студентами предметных интеллектуально-личностных компетенций, с успешной их последующей послевузовской трудовой деятельностью и профессиональной карьерой, было принято решение о проведении эксперимента по использованию модульной технологии в обучении студентов этой дисциплины. Цель данного исследования – выявление целесообразности использования модульной технологии в обучении учебной дисциплины, выявление и экспериментальное подтверждение ее некоторых аксиологических аспектов. С использованием методологического приема диверсификации информационно-дидактическая база/содержание учебной дисциплины было расчленено на три взаимно связанных учебных модуля. В структуре каждого учебного модуля содержатся четыре функциональных блока: целевой, содержательно-информационный, деятельностно-технологический и оценочный. Интегративной дидактической целью учебных модулей является формирование одной из трех компонент предметной интеллектуально-личностной компетенции, имманентной содержанию этого учебного модуля. Для выявления целесообразности использования модульной технологии в обучении студентов гуманитарно-психологической дисциплины были проведены констатирующий и формирующий эксперименты. В эксперименте участвовали студенты 3 курса Самарского государственного университета путей сообщения, обучающиеся по модульной технологии (экспериментальная группа), и студенты того же 3 курса той же специальности, обучающиеся по традиционной педагогической технологии (контрольная группа). Все рассмотренные в статье аксиологические аспекты использования модульной технологии научно аргументированы и подтверждены экспериментальными исследованиями.

Ключевые слова: студенты, модульные технологии обучения, предметные интеллектуально-личностные компоненты, аксиологические аспекты

**SOME AXIOLOGICAL ASPECTS OF USING MODULAR TECHNOLOGY
WHEN TRAINING TECHNICAL STUDENTS PSYCHOLOGICAL BASES
OF INTELLECTUAL AND PERSONAL DEVELOPMENT**

¹Ovchinnikova L.P., ²Mikhelkevich V.N.

¹Samara State Transport University, Samara, e-mail: PLOvchin@yandex.ru;

²Samara State Technical University, Samara, e-mail: J918@yandex.ru

Following the recommendation of the RZD JSC personnel services Samara State Transport University included the discipline “Psychological Bases of Intellectual and Personal Development” in the 2020 training curriculum of Railway Operation. Taking into consideration special importance of the correlation between the content of the abovementioned discipline and the students’ intellectual and personal competences required for their future professional activity it was decided to pilot the modular technology (which is didactically more superior to the traditional pedagogical technologies) in educational process. Hence, the purpose of this study is to identify the efficiency and usefulness of the modular technology in training technical students as well as to experimentally confirm its axiological aspects. Using diversification as a methodological technique we divided the informational didactic basis/content of the discipline into three interrelated training modules. Each training module is structured in four functional units: target, content and informational, practical and technological, and evaluation ones. In terms of didactics the training modules are aimed at developing one of three components of the subject intellectual and personal competence immanent to this training module. The summative and formative assessment was carried out to identify the efficiency and usefulness of the modular technology in training students the humanitarian and psychological discipline. Third-year students of Samara State Transport University trained both according to the modular technology (pilot group) and according to the traditional pedagogical technology (control group) participated in the assessment. All axiological aspects of using the modular technology examined in the article are scientifically substantiated and confirmed by experimental studies.

Keywords: students, modular training technologies, subject intellectual and personal components, axiological aspects

По рекомендации работодателей – кадровых служб предприятий ОАО «Российские железные дороги» в 2020 г. в учебный план подготовки инженеров специальности «Эксплуатация железных дорог» была введена учебная дисциплина «Психологические основы интеллектуально-личностного развития». Эта гуманитарная психологическая дисциплина по своему содержанию и предметным профессионально значимым личностным свойствам, формируемым в процессе ее освоения студентами, имеет высокую корреляцию с успешностью их послевузовской профессиональной деятельности и становлением их профессиональной карьеры. Учитывая эти жизненно важные для будущих специалистов взаимосвязи, было принято логически обоснованное решение провести эксперимент по использованию в преподавании учебной дисциплины «Психологические основы интеллектуально-личностного развития» модульной технологии обучения, учитывая ее известные ценностные характеристики и дидактические преимущества по сравнению с традиционными педагогическими технологиями [1–3].

Поэтому целью исследования явилось выявление эффективности и целесообразности в установлении и анализе аксиологических аспектов использования модульной технологии обучения студентам транспортного вуза учебной дисциплины «Психологические основы интеллектуально-личностного развития».

Материалы и методы исследования

В процессе выполнения исследований авторы опирались на основополагающие теоретико-методологические положения современной педагогической науки в области проектирования и анализа инновационных технологий, использовали методы сравнительно-сопоставительного анализа экспертных исследований, методики организации проведения констатирующего и формирующих экспериментов.

Миссия учебной дисциплины «Психологические основы интеллектуально-личностного развития» – обеспечить и обогатить студентов интеллектуально-личностными знаниями психологического развития личности и условиями достижения профессиональных целей и путей построения карьеры, концепций управления трудовыми коллективами, принципами и методами командообразования, методами и способами разрешения межличностных и производственных конфликтов, умением решать психологические задачи, связанные с развитием личности, выбором оптималь-

ных способов саморазвития, самоопределения и самосовершенствования на основе самооценки в процессе жизнедеятельности.

Комплексная дидактическая цель учебной дисциплины «Психологические основы интеллектуально-личностного развития» состоит в том, чтобы сформировать у обучающихся компетенции в области психологии интеллектуально-личностного развития, в том числе знание психологических закономерностей личностного становления, особенностей развития познавательных процессов, стратегий мыслительной деятельности, освоение способов и эффективных приемов критического мышления, методов диагностики своих индивидуально-психологических особенностей, выстраивания траектории саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни.

Для достижения комплексной дидактической цели была разработана, апробирована и внедрена в учебный процесс профессиональной подготовки специалистов по эксплуатации железнодорожного транспорта модульная технология формирования у студентов предметных профессионально значимых психолого-педагогических интеллектуально-личностных компетенций. Прежде всего, используя диверсификационный подход, содержание / информационно-дидактическая база учебной дисциплины «Психологические основы интеллектуально-личностного развития» расчленена на три взаимосвязанных, условно локальных учебных модуля M_1 , M_2 , M_3 . При этом каждый из учебных модулей содержит в своей системно выстроенной структуре по четыре функциональных блока: целевой, информационно-содержательный, деятельность-технологический, оценочный. Целевые блоки учебных модулей содержат интегративные дидактические цели этих модулей. Интегративная дидактическая цель модуля M_1 состоит в знании специфики развития индивидуальных интеллектуально-личностных качеств личности, способов развития важных познавательных процессов, профессионального сознания и профилактики его деформаций, умения решать психологические задачи, связанные с диагностикой развития личности и критического мышления.

Интегративно-дидактическую цель модуля M_2 составляет знание обучаемыми основных способов коммуникации, организации эффективного взаимодействия, нетворкинг и профайлинг в деловой коммуникации, а также умение использовать тайм-менеджмент в профессиональной деятельности.

Интегративно-дидактическая цель модуля M_3 состоит в умении и организации бесконфликтного поведения, способах и приемах разрешения конфликтных ситуаций, профилактике стресса, эмоционального выгорания и негативных эмоциональных состояний, проектирования индивидуальной траектории интеллектуально-личностного развития.

В информационно-содержательных блоках учебных модулей представлена та часть информационно-дидактической базы / та часть содержания учебной дисциплины, в процессе освоения которой у студентов будут сформированы имманентные этому содержанию профессионально значимые интеллектуально-личностные компетенции. Важно отметить, что согласно учебному плану особо важную информацию по каждому модулю студенты получают в объеме одной трети на лекциях от преподавателя и в объеме двух третей приобретают во вне-аудиторном процессе самостоятельной самоорганизуемой работы.

В деятельностно-технологических блоках учебных модулей представлены перечни практических занятий по проведению психологических тренингов и психолого-педагогических упражнений, по проведению деловых и ролевых игр, по организации дискуссий по проблемам интеллектуально-личностного развития, в процессе выполнения и активного участия в которых у студентов формируются умения и навыки продуктивного и комфортного психолого-педагогического взаимодействия в производственном / академическом коллективе. Из вышесказанного следует, что в деятельностно-технологических блоках модулей, по существу, даются описания технологий формирования соответствующих компонентов совокупности предметных профессионально значимых интеллектуально-личностных компетенций. Оценочные блоки учебных модулей содержат контрольные вопросы для педагогического оценивания уровней сформированности соответствующего компонента совокупности предметных интеллектуально-личностных компетенций и списки контрольных вопросов для самоконтроля студентов при самостоятельной самоорганизуемой работе по изучению и освоению данного учебного модуля.

В самом общем виде модульную технологию обучения студентов учебной дисциплине «Психологические основы интеллектуально-личностного развития» можно представить в виде конечного ряда мыслительных, аудиальных, визуальных

и кинестетических операций и процедур по преобразованию знаний, содержащихся в информационно-содержательных блоках, последовательно и преемственно реализуемых учебных модулей в виды учебно-познавательной, профессионально значимой деятельности, развивающей и формирующей предметные психолого-педагогические интеллектуально-личностные компетенции.

Для выявления эффективности и целесообразности использования модульной технологии обучения студентов учебной дисциплине «Психологические основы интеллектуально-личностного развития» были проведены констатирующий и формирующий эксперименты. Субъектами экспериментальной группы (ЭГ-1) были студенты третьего курса специальности «Эксплуатация железных дорог» специализации «Магистральный транспорт» Самарского государственного университета путей сообщения, численность 52 чел., которым эта учебная дисциплина преподавалась по модульной технологии.

Контрольную группу (КГ-2) составили студенты того же третьего курса той же специальности и специализации того же университета, численностью 49 чел., которым преподавание этой дисциплины проводилось по традиционной педагогической технологии.

Правомерность выбора состава контрольной группы была подтверждена результатами констатирующего эксперимента, в качестве которого был принят итоговый экзамен по курсу «Физика», как наукоемкой и наиболее трудно осваиваемой учебной дисциплины, который студенты экспериментальной (ЭГ-1) и контрольной (КГ-2) групп сдавали в предыдущем четвертом семестре второго курса и результаты которого представлены в табл. 1.

Сравнительно-сопоставительный анализ представленных в таблице результатов академической успеваемости студентов экспериментальной и контрольной групп свидетельствует об их примерно равном интеллектуальном потенциале на всех уровнях академической успеваемости, что подтверждает правильность выбора состава контрольной группы.

Экспериментальные данные по уровням сформированности у студентов экспериментальной и контрольной групп предметных профессионально значимых интеллектуально-личностных компетенций на итоговом срезе формирующего эксперимента, проведенного по окончании пятого семестра, представлены в табл. 2.

Таблица 1

Уровни академической успеваемости студентов экспериментальной и контрольных групп на исходном срезе констатирующего эксперимента

Группы	Число студентов, (выборка, чел.)	Уровни академической успеваемости студентов (% к выборке)		
		Базовый (пороговый)	Повышенный	Высокий
Экспериментальная группа (ЭГ-1)	52	26,0	48,0	26,0
Контрольная группа (КГ-2)	49	24,0	46,0	30,0

Таблица 2

Экспериментальные данные по уровням сформированности у студентов экспериментальной и контрольной групп предметных профессионально значимых интеллектуально-личностных компетенций на итоговом срезе формирующего эксперимента

Группа	Число студентов (выборка, чел.)	Уровни сформированности предметных интеллектуально-личностных компетенций (в % к выборке)		
		Базовый (пороговый)	повышенный	высокий
Экспериментальная (ЭГ-1)	52	12,0	52,0	36,0
Контрольная (КГ-2)	49	42,0	44,0	14,0

Сравнительно-сопоставительный анализ представленных в этой таблице данных формирующего эксперимента свидетельствует о более высоком качестве сформированности предметных интеллектуально-личностных компетенций у студентов экспериментальной группы: число студентов экспериментальной группы, освоивших эти предметные интеллектуально-личностные компетенции, в 2,5 раза больше числа студентов контрольной группы, подтвердивших высокий уровень сформированности компетенций, а на повышенном уровне сформированности компетенций – в 1,2 раза больше.

Эти статистические экспериментальные данные убедительно свидетельствуют о высокой эффективности и целесообразности использования модульной технологии в преподавании учебной дисциплины «Психологические основы интеллектуально-личностного развития». Таким образом, первый аксиологический аспект использования модульной технологии в преподавании учебной дисциплины «Психологические основы интеллектуально-личностного развития» состоит в существенном повышении уровней сформированности у студентов пред-

метных профессионально значимых интеллектуально-личностных компетенций.

Кадровые службы транспортных предприятий и учреждений при конкурсном отборе на работу выпускников вузов предъявляют высокие требования не только к уровням их профессиональных компетенций, но и к их личностным профессионально значимым качествам. Очевидно, что эти требования логичны и правомерны, поскольку личностные профессионально значимые качества специалиста/выпускника вуза (ответственность, лидерство, умение работать в команде и др.) во многом определяют успешность его профессиональной деятельности и успешность становления его профессиональной карьеры и оказывают влияние на создание в трудовом коллективе благоприятной рабочей и комфортной психологической среды. Поскольку Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования подготовки специалистов по специальности «Эксплуатация железных дорог» [4] не оговаривает состав наиболее профессионально значимых личностных качеств выпускника вуза, то мы для его выявления и обоснования

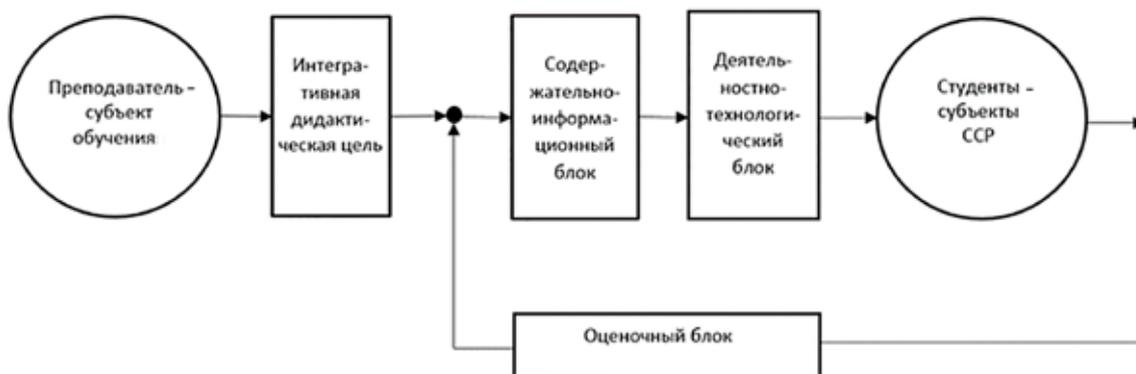
прибегли к использованию метода экспертных исследований. Для этого вначале был сформирован список личностных профессионально значимых качеств специалиста из 20 наименований, составленный по результатам собеседований по этой проблеме с руководителями и ведущими специалистами предприятий и учреждений по эксплуатации железных дорог, а также изучения ряда корпоративных и отраслевых профессиональных стандартов квалификаций, в которых личностные профессионально значимые качества содержатся. Для выявления из этого списка пяти минимально достаточных и наиболее востребованных личностных профессионально значимых качеств специалиста по эксплуатации железных дорог были проведены экспертные исследования. В качестве экспертов были приглашены руководители и ведущие специалисты предприятий и учреждений по эксплуатации железных дорог ряда предприятий Куйбышевской железной дороги (экспертная группа ЭГ-1 численностью 42 чел.) и ученые и преподаватели выпускающих кафедр Самарского государственного университета путей сообщения (экспертная группа ЭГ-2 численностью 47 чел.). В экспертную анкету было вписано 20 наименований личностных профессионально значимых качеств, и экспертов попросили оценить важность каждой из них для специалиста по эксплуатации железнодорожного транспорта по трехуровневой шкале: весьма важное, важное, менее важное. По результатам экспертного оценивания важности представленных номинаций с использованием критерия большинства с оценкой «весьма важное» была отобрана, для наблюдения за динамикой формирования, совокупность из пяти личностных профессионально значимых качеств: ответственность, дисциплинированность, настойчивость, умение работать в команде, способность принимать других. Здесь необходимо оговорить, что личностные профессионально значимые качества, в отличие от компетенций, являются метапредметными и надпредметными субстанциями, они развиваются и формируются опосредованно в процессе выполнения студентом какого-то вида учебно-познавательной деятельности, то есть опосредованно в процессе формирования у них универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций, в том числе и в процессе формирования рассматриваемых в статье предметных интеллектуально-личностных компетенций [5, 6].

Личностные профессионально значимые качества студента/специалиста одновременно не могут быть определены

и измерены. Они выявляются только лишь в результате длительного временного наблюдения за учебно-познавательной деятельностью студента, его поведением и прилежанием, за его умением работать в команде и оцениваются людьми из ближайшего его окружения (ведущие преподаватели, кураторы, однокурсники и староста группы). По оценкам экспертов-преподавателей, работающих со студентами экспертной группы ЭГ-1, в пятом семестре третьего курса введена в число основных образовательных программ учебная дисциплина «Психологические основы интеллектуально-личностного развития», при изучении которой была использована модульная технология, не только заметно повысилась академическая успеваемость и уровень сформированных предметных интеллектуально-личностных компетенций, но и заметно осознанно углублялись и укреплялись личностные профессионально значимые качества. Поэтому второй аксиологический аспект использования модульной технологии обучения в преподавании учебной дисциплины «Психологические основы интеллектуально-личностного развития» выражается в заметном повышении уровней сформированности личностных профессионально значимых качеств.

Третий аксиологический аспект использования модульной технологии в обучении студентов учебной дисциплине «Психологические основы интеллектуально-личностного развития» усматривается в повышении заинтересованности и производительности самостоятельной самоорганизуемой работы студентов по изучению и освоению учебного материала этой дисциплины.

В иерархической структуре дидактических моделей по классификации профессора В.Э. Штейнберга, учебный модуль относится к группе элементарных микромодулей. С другой стороны, как показано в нашем исследовании, учебный модуль с познаний системной методологии представляет собой конструкт самоуправляемой/самоорганизуемой самостоятельной деятельности студента по изучению и практическому освоению содержащегося в нем учебного материала. В структуре конструкта учебного модуля имеются четыре функциональных блока, описание которых нами дано в начале статьи. Рассматривая с системных позиций содержательную структуру конструкта учебного модуля, легко можно увидеть, что если в структуру конструкта ввести субъекта обучающейся деятельности – студента, то она трансформируется в целостную самоуправляемую/самоорганизуемую систему самостоятельной деятельности студента, представленную на рисунке.



Структура дидактической системы самостоятельной самоорганизуемой деятельности студента по изучению и освоению содержания учебного модуля и формированию предметной компетенции

Системный подход к организации самоорганизуемой самостоятельной работы обеспечивает позитивный синергетический эффект в восприятии и освоении учебного материала, создает благоприятные условия для выполнения самостоятельной работы.

Упреждающее знакомство обучающегося с целеполаганием для большинства из них является стимулирующим фактором в ее выполнении. Содержательно-информационный блок учебного модуля содержит список рекомендуемых для изучения учебных пособий и методических указаний по выполнению конкретных практических заданий и упражнений, что позволяет студентам существенно экономить время на интегративный поиск информации в социальных сетях или каталогах библиотек.

Более того, в списке рекомендуемой литературы дается также не менее трех учебных пособий по содержанию данного учебного модуля, написанных разными авторами, из разных научно-педагогических школ. При этом в утверждениях видных мировых ученых-психологов, например профессора Лу Ливера, отмечается, что каждый обучающийся человек обладает сугубо индивидуальным учебным стилем восприятия информации, равно как и любое учебное пособие обладает специфическим учебным стилем. У крупного ученого-психолога К. Юнга это качество человека используется в социологических исследованиях под термином «типология информационного метаболизма». Рекомендуемые учебные пособия, размещенные на портале (или сайте) электронной библиотеки университета, студент находит и бегло знакомится, выбирает тот стиль изложения материала, который наиболее близок учебному стилю самого студента, и приступает к его изучению. Содержание и количе-

ство практических заданий и тренинговых упражнений, содержащихся в деятельностно-технологическом блоке учебного модуля, обеспечивает полное и частичное формирование соответствующей компоненты предметной интеллектуально-личностной компетенции. Систематические процедуры по самоконтролю за успешностью самостоятельного освоения студентом учебного материала осуществляются в оценочном блоке. Как видно из рисунка, оценочный блок в рассматриваемой системе осуществляет отрицательную обратную связь, которая обеспечивает изначально заданные требования.

И последний, четвертый, аксиологический аспект использования модульной технологии в обучении дисциплины «Психологические основы интеллектуально-личностного развития» состоит в повышении интенсивности освоения студентами учебного материала. Эффект повышения интенсивности процесса обучения при использовании модульной технологии взамен традиционной классической педагогической технологии был априори предсказуем, поскольку во многих учебных пособиях и монографических педагогических публикациях модульную технологию относят к группе интенсивных технологий и приводятся примеры достигнутой интенсивности в 1,2–1,5 раза по сравнению с традиционными при равных условиях для достижения одних и тех же дидактических целей [1].

Здесь заранее следует оговориться, что выявить интенсивность обучения при использовании инновационной технологии весьма затруднительно, тем не менее была предпринята попытка ее выявления хотя бы в первом приближении. Во-первых, по нашей просьбе студенты экспериментальной группы провели хронометраж затрат

времени на внеаудиторную самостоятельную работу по изучению и освоению заданного им учебного материала. Выяснилось, что они затрачивали время на самостоятельное освоение учебного материала на 22–28% меньше, чем среднестатистическое нормативное время, указанное в рабочей программе учебной дисциплины, и это, как показано в табл. 2, при высоких и повышенных уровнях сформированности у них предметных интеллектуально-личностных компетенций.

Во-вторых, за счет кардинального изменения структуры лекционных занятий по учебной дисциплине, по модульному последовательному и представленному предъявлению студентам экспериментальной группы базового основополагающего психолого-педагогического материала удалось интенсифицировать учебный процесс обучения и за счет этого увеличить объем передаваемой студентам информации.

Полученный нами опыт и наблюдения свидетельствуют, что модульная технология обеспечивает интенсивность обучения студентов учебной дисциплине «Психологические основы интеллектуально-личностного развития» примерно на 20–23%. Этот позитивный аксиологический аспект дополнительно свидетельствует о целесообразности использования модульной технологии в преподавании дисциплины «Психологические основы интеллектуально-личностного развития».

Выводы

1. Показано и научно обосновано, что использование модульной технологии в обучении студентов транспортного вуза учебной дисциплине «Психологические основы интеллектуально-личностного развития» обеспечивает ряд дополнительных дидактических ценностей и преимуществ.

2. На основании анализа статистических данных формирующего эксперимента

установлено, что за счет применения модульной технологии обучения значительно повысилось качество сформированности у студентов экспериментальной группы предметных интеллектуально-личностных компетенций.

3. С внедрением в учебный процесс модульной технологии обучения значительно возросла активность и производительность самостоятельной / самоорганизуемой работы студентов по изучению и освоению учебного материала.

4. Показано, что при использовании модульной технологии обучения студентов учебной дисциплине «Психологические основы интеллектуально-личностного развития» обеспечивается повышение интенсивности ее освоения.

Список литературы

1. Современные образовательные технологии: учебное пособие / Под ред. Н.В. Бордовской. М.: Изд-во КНОРУС, 2016. 432 с.
2. Смирнова Ж.В., Каткова О.В. Опыт организации модульного обучения в структуре образовательного процесса – универсальный бакалавриат профессиональной подготовки обучающихся вуза // Мир науки. 2016. Т. 4. № 5. URL: <http://mir-nauki.com/PDF/16PDMN516.pdf> (дата обращения: 21.04.22).
3. Зайцев В.С. Современные педагогические технологии: учебное пособие. В 2-х кн. Кн. 1. Челябинск: ЧГПУ, 2012. 411 с.
4. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования – специалист по специальности 23.05.04 «Эксплуатация железных дорог» специальность «Магистральный транспорт» [Электронный ресурс]. URL: <https://fgosvo.ru/uploadfiles/fgosvospec/230504.pdf> (дата обращения: 11.04.2022).
5. Чугунова С.В., Овчинникова Л.П., Михелькевич В.Н. Содержательно-деятельностные компоненты готовности студентов транспортного вуза к инновационной профессиональной деятельности // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 6–2. С. 402–407.
6. Посталок Н.Ю., Прудникова В.А. Профессионально значимые качества специалистов: методологические подходы, методы, российские практики развития // Профессиональное образование в России и за рубежом. 2020. № 3 (39). С. 86–94.

УДК 378.14

ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА БУДУЩЕГО УЧИТЕЛЯ В КУЛЬТУРНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ВУЗА

¹Птицына Е.В., ²Останина С.А., ²Анцева В.П.

¹ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»,
Петрозаводск, e-mail: ptycina@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Петрозаводская государственная консерватория имени А.К. Глазунова»,
Петрозаводск, e-mail: svetlana.ostanina@glazunovcons.ru

Проблема подготовки будущих учителей в системе высшего образования рассматривается как одна из ключевых в педагогической науке. Сегодня современная система образования нуждается в педагогах, готовых работать в новых, быстро изменяющихся условиях, умеющих организовывать и сопровождать процесс обучения, разрабатывать инновационные идеи, содержание и технологии в организации целостного педагогического процесса, а также исследовать проблемы формирования, развития и воспитания подрастающего поколения. Профессиональное педагогическое образование должно быть ориентировано на гуманистические и демократические ценности. В контексте заявленной проблемы авторы обосновывают актуальность создания культурно-образовательного пространства вуза, в котором происходит активное погружение будущих учителей в культуру и создаются условия для усвоения знаний, норм и ценностей, трансляции гуманистических ценностей во всем многообразии социальных связей и отношений. В статье авторы доказывают, что приоритетными задачами подготовки будущего учителя в культурно-образовательном пространстве является наполнение содержания образования общекультурными составляющими, обеспечение активности субъектов образовательного процесса на основе сотрудничества и диалога, объединение преподавателей и студентов в общей деятельности. При этом основу построения педагогической деятельности составляет культуротворческая позиция преподавателя в соответствии с принципами гуманизма.

Ключевые слова: высшее педагогическое образование, будущий учитель, профессиональная подготовка, культура, культурно-образовательное пространство

THE SPECIFICS OF THE DISCIPLINE «DRAWING» IN THE SYSTEM OF PROFESSIONAL TRAINING OF A FUTURE TEACHER

¹Ptitsyna E.V., ²Ostanina S.A., ²Antseva V.P.

¹Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: ptycina@yandex.ru;

²Petrozavodsk State Glazunov Conservatoire, Petrozavodsk, e-mail: svetlana.ostanina@glazunovcons.ru

The problem of training future teachers in the higher education system is considered as one of the key ones in pedagogical science. Today, the modern education system needs teachers who are ready to work in new, rapidly changing conditions, who are able to organize and accompany the learning process, develop innovative ideas, content and technologies in the organization of a holistic pedagogical process, as well as explore the problems of formation, development and upbringing of the younger generation. Professional pedagogical education should be focused on humanistic and democratic values. In the context of the stated problem, the authors substantiate the relevance of creating a cultural and educational space of the university, in which future teachers are actively immersed in culture, and conditions are created for the assimilation of knowledge, norms and values, the translation of humanistic values in all the diversity of social ties and relationships. In the article, the authors prove that the priority tasks of preparing a future teacher in the cultural and educational space are filling the content of education with general cultural components, ensuring the activity of the subjects of the educational process on the basis of cooperation and dialogue, uniting teachers and students in common activities. At the same time, the basis for the construction of pedagogical activity is the cultural position of the teacher in accordance with the principles of humanism.

Keywords: higher pedagogical education, future teacher, professional training, culture, cultural and educational space

Эффективность социально-экономического развития общества, богатство его духовно-нравственной культуры зависит от системы образования в целом и от уровня профессиональной подготовки педагогических кадров в частности. При этом существует проблема формирования профессиональных компетенций, которая поднимается неоднократно и проявляется в разных подходах формулирования готовности к профессиональной деятельности выпускника вуза. В данном контексте проблема подготовки будущих учителей в системе высшего образования рассматривается как одна

из ключевых в педагогической науке. Сегодня современная система образования нуждается в педагогах, готовых работать в новых, быстро изменяющихся условиях, умеющих организовывать и сопровождать процесс обучения, разрабатывать инновационные идеи, содержание и технологии в организации целостного педагогического процесса, а также исследовать проблемы формирования, развития и воспитания подрастающего поколения.

В последнее время в педагогическом образовании сложились противоречия между динамикой профессиональных задач и вну-

тренней неготовностью учителя к их осуществлению; между растущим объемом актуальной информации и старыми способами ее переработки, хранения и передачи; между потребностью общества в педагогических кадрах и уменьшением их численности. В данном аспекте требуется изменение и совершенствование методов и методик обучения, что, в свою очередь, поднимает проблему обновления компетенций преподавателя, который должен обладать навыками «оценивать собственную профессиональную эффективность, определять и расставлять приоритеты индивидуального и профессионального развития, планировать личный и карьерный рост, оценивать развитие компетенций, подтверждать неформальное обучение в течение всей жизни, повышать статус педагогической профессии» [1].

В.А. Сластенин справедливо утверждает: «Вполне очевидно, что по своему содержанию педагогическое образование должно стать практическим человекознанием, своего рода педагогической антропологией» [1]. Профессиональное педагогическое образование должно быть ориентировано на гуманистические и демократические ценности: «Воспитание будет тем эффективнее, чем в большей степени оно будет интегрировано и вписано в контекст культуры, а воспитанник будет активно овладевать и творчески развивать лучшие образцы культуры нации, страны, мировой цивилизации» [2].

Сегодня можно выделить актуальные направления развития педагогического образования: проектирование нового содержания, педагогических технологий и организационных форм; внедрение разработок педагогов-новаторов; создание инновационного пространства для аккумуляции идей и объединения возможностей; распространение лучшего педагогического опыта [3].

Цель исследования заключается в выявлении и обосновании особенностей профессиональной подготовки будущего учителя в культурно-образовательном пространстве вуза.

Материалы и методы исследования

Материалы и методы исследования: анализ научной литературы по рассматриваемой теме; изучение педагогического опыта, наблюдение.

Результаты исследования и их обсуждение

Профессиональная подготовка будущего учителя является важным этапом его профессионального становления, которое представляет собой непрерывный процесс,

охватывающий длительный период жизни человека и предполагает изменение личности под влиянием социальных факторов, профессиональной деятельности и собственной активности. Важным вектором профессионального становления педагога на стадии профессиональной подготовки должно стать формирование компетенций, компетентностей и метапрофессиональных качеств. В этом смысле трудно переоценить важность развития компонентов сфер индивидуальности. Важной характеристикой в этом процессе является психологическая готовность к профессиональной деятельности – «устойчивая характеристика субъекта учебно-профессиональной деятельности, способствующая успешному овладению деятельностью и имеющая четырехкомпонентную структуру, включающую саморегуляционный, мотивационный, оценочный и эмоциональный компоненты» [4]. С получением и накоплением опыта учебно-профессиональной деятельности, развитием профессионального самосознания, формированием профессионально-личностных эталонов происходит изменение самооценки компонентов саморегуляции: она становится более адекватной и обоснованной, возрастает умение критически оценить свои индивидуальные возможности, соотнести их с требованиями ситуации, деятельности, согласовать с действиями других людей.

Профессиональное педагогическое образование представляет собой взаимодействие двух процессов: профессионализации и индивидуализации. Смысл профессионализации заключается в освоении обучающимися культуры профессии как социально одобряемой, и с этой точки зрения, должной деятельности педагога. Процесс профессионализации направлен на «встраивание» будущего учителя в виртуальное и реальное профессиональное пространство, на развитие профессионально значимых качеств, позволяющих в будущем работать в рамках присвоенной культуры профессии. Смысл индивидуализации заключается в создании условий, обеспечивающих построение каждым обучающимся индивидуального образовательного маршрута. Процесс индивидуализации характеризует профессиональное образование как постоянное достижение обучающимся акме. Развивающий характер профессионального образования способствует осознанию обучающимся сильных и слабых личностных, интеллектуальных, нравственных и творческих особенностей и возможностей в освоении будущей профессии.

В контексте заявленной проблемы необходимо отметить актуальность создания

культурно-образовательного пространства вуза, в котором происходит активное погружение будущих учителей в культуру и создаются условия для усвоения знаний, норм и ценностей, трансляции гуманистических ценностей во всем многообразии социальных связей и отношений. Можно по-разному трактовать сущность и характеристику понятия «культурно-образовательное пространство» – «диалогическое взаимодействие, существующее между культурой и образованием», «пространство культуры включает образование, их взаимодействие оказывает решающее влияние на развитие всего регионально-пространства культуры», «специально создаваемые локусы для целенаправленного решения определенных задач (образовательных, развивающих, просветительских), осуществляющие образовательную и просветительскую деятельность, научно-исследовательские, производственные и бизнес-площадки, используемые для реализации профориентационной или просветительской деятельности» [5].

По мнению А.И. Горбунова, «культурно-образовательное пространство создает условия для выращивания специалистов креативного типа, отличающихся высоким уровнем профессионализма, конкурентоспособностью, потребностью в постоянном творческом саморазвитии и профессиональном росте» [6]. Само пространство представляет собой развивающую образовательную среду (содержательные компоненты, отношения субъектов образовательного процесса, культуру их взаимодействия) и способствует обеспечению личностного роста субъектов через включение в различные виды деятельности. При этом культура определяет отношения между будущим учителем и образовательной средой с ее культурными ценностями и смыслами, где обучающиеся осваивают общую для всех культуру педагогической профессии.

Культурно-образовательное пространство вуза – это организация территории, структурные элементы которой используются студентами для освоения образовательного процесса и трансляции гуманистических ценностей, обозначая основные направления проектирования, развития, управления им. В результате погружения в культурно-образовательное пространство происходит творческое развитие личностного роста субъектов среды. В этом аспекте важной стороной культурно-образовательного пространства становится эстетическая составляющая.

В случае целенаправленного воздействия на личность в культурно-образова-

тельном пространстве происходит развитие культуры будущего учителя (эстетических знаний, убеждений, чувств, навыков, норм и др.), а также культуры речи, движений, жестов, внешнего вида. Эстетическая культура личности будущего учителя зависит от способностей эмоционального восприятия произведений искусства и жизненной действительности, которые требуют эстетической оценки. Необходимыми условиями развития эстетической культуры будущего учителя являются: усвоение им принципов и норм нравственности; формирование нравственно-эстетических убеждений, эстетических чувств и потребностей; рациональная организация жизнедеятельности и поведения на основе понимания красоты; развитие профессионально-педагогических умений и навыков.

Для создания культурно-образовательного пространства вуза необходимо решить следующие задачи:

- разработка образовательных, научно-исследовательских, просветительских проектов, привлечение к разработке и реализации проектов студентов, обучающихся школ;
- организация профориентационной и воспитательной деятельности;
- освещение научных исследований ученых, студентов в СМИ и социальных сетях;
- проектирование экспозиций и выставок; реконструкций, маршрутов и интерактивных пространств;
- популяризация научных педагогических знаний;
- комплексное построение системы сопровождения профессионального самоопределения учащихся;
- создание «смешанных» проектных групп (межинститутских, межвузовских) по различным направлениям деятельности;
- ориентация на передачу образовательного и культурного опыта через педагогический процесс.

В процессе переосмысления общечеловеческих ценностей в культурно-образовательном пространстве вуза важно актуализировать значимость культуры и традиций как преемственной взаимосвязи уходящих и приходящих поколений. Традиции являются средством развития нравственных, эстетических и когнитивных свойств личности. Только бережённые традиции могут гарантировать устойчивость всей нации. Они гарантируют преемственность, взаимосвязь между поколениями, тем самым играют важную роль в воспитании личности как носителя и творца культуры. Заложенные в традициях нравственные, эстетические, интеллектуальные ценности выступают гарантом духовного развития

общества. В традициях формируются моральные и нравственные установки, идеалы, отражается накопленный веками опыт практической и духовной деятельности. Культурные традиции и наследие является основой культурного развития личности.

В рамках культурного существования культурологическая направленность предполагает исследование мира человека. Обогащая культурологическими аспектами содержание педагогического образования, культура определяет отношения между будущим учителем как свободной личностью, способной к творческой самореализации, и образовательной средой с ее культурно-сообразными ценностями и смыслами. Особое значение в определении содержания культурологического подхода имеет положение о том, что культура рассматривается как явление антропологии; предполагает анализ педагогической действительности через культурные нормы и ценности, развитие способности творить, принимая общечеловеческие ценности и сочетая их с национальными в своей жизни (В.И. Андреев, Е.В. Бондаревская, Н.Е. Щуркова).

В Институте педагогики и психологии Петрозаводского государственного университета создано культурно-образовательное пространство Инновационного педагогического парка ПетрГУ, представляющее собой целостную систему творческих мастерских и лабораторий для генерации и воплощения креативных идей в области образования. Создание Инновационного педагогического парка стало возможным благодаря реализации Программы развития опорного университета и стратегического проекта «Образование 5.0». В структуру Инновационного педагогического парка входят экспозиционно-образовательный центр, гуманитарный и инженерно-технологический классы, Центр инклюзивного образования, лаборатория моделирования образовательных программ высшего образования, педагогическая лаборатория сельской школы, офис студенческого проектирования PRO.UM, центр психологического здоровья и эмоционального благополучия, центр электронного обучения. Здесь проходят мероприятия, способствующие инновационному, технологическому, культурному и социальному развитию региона. Наполнение кабинетов и лабораторий педагогического парка носит инновационный характер: современное оборудование, учебные материалы, программные продукты.

Приоритетными задачами подготовки будущего учителя в культурно-образовательном пространстве является наполнение содержания образования общекультурными

составляющими, обеспечение активности субъектов образовательного процесса на основе сотрудничества и диалога, объединение преподавателей и студентов в общей деятельности. При этом основу построения педагогической деятельности составляет культуротворческая позиция преподавателя в соответствии с принципами гуманизма. Можно выделить основные векторы развития культурно-образовательного пространства вуза:

- реализация гуманно-личностного подхода в образовательной практике вуза на основе признания ценностей гуманизма во взаимодействии педагогов и студентов в единстве их совместной деятельности;

- ориентация на профессиональную подготовку педагогов инновационного типа, способных к инновационному и творческому решению учебно-воспитательных задач в условиях изменяющейся социокультурной действительности;

- формирование профессиональной культуры студентов на основе культурно-гуманистических и ценностных приоритетов: совокупность идей, смыслов, ценностных ориентаций и личностных качеств, способствующих самореализации в профессии в условиях педагогической действительности;

- становление личностно значимой мотивации студентов, погружение в реальность педагогической действительности;

- формирование гражданско-патриотических качеств будущего учителя на основе интеграции поликультурного и национального воспитания;

- взаимосвязь инноваций и культурных традиций как фактора трансляции культурных ценностей;

- осуществление взаимосвязи педагогической и эстетической деятельности.

Таким образом, целью и результатом создания культурно-образовательного пространства является подготовка будущего учителя к творческой педагогической деятельности, в ходе которой происходит развитие его педагогической культуры, принятие ценностей современного образования.

Заключение

Современное положение и перспективы развития образования зависят от уровня методологической культуры педагогов, мобильных к выдвижению и реализации на практике инновационных идей, разработке содержания и технологий в организации целостного педагогического процесса. Подготовку педагогических кадров необходимо рассматривать как одно из важных направлений совершенствования отечественной системы образования, от уровня

развития которой во многом зависит прогресс государства. Профессиональная подготовка будущих педагогов в контексте основных положений культурологического подхода представляет собой ориентацию на культурные ценности, в соответствии с которыми происходит отбор содержания, использование соответствующего инструментария его реализации, ориентированных на самореализацию в различных видах практико-ориентированной деятельности творческого характера.

Список литературы

1. Подымова Л.С. Педагогическая антропология как методология современного педагогического образования в контексте идей К.Д. Ушинского и В.А. Славенкина // Педагогическое образование: вызовы XXI века: материалы VII Международной научно-практической конференции, посвященной памяти академика В.А. Славенкина. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2016. С. 39–41.
2. Андреев В.И. Педагогика: учебный курс для творческого саморазвития. Казань: Центр инновационных технологий, 2000. 608 с.
3. Птицына Е.В., Федорова Е.Н. Ценности профессиональной деятельности будущего педагога // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 2–2. С. 401–405.
4. Шевченко Н.Н. Деятельностный подход к профессиональной подготовке будущего учителя в образовательном процессе университета // *Проблемы современного образования*. 2021. № 5. С. 116–128. DOI: 10.31862/2218-8711-2021-5-116-128.
5. Птицына Е.В. Реализация культурологического подхода в эстетическом воспитании студентов педагогического вуза // *Наука и мир*. Волгоград: Научное обозрение. 2014. С. 316–318.
6. Федорова Е.Н. Ценностно-смысловая парадигма профессиональной педагогической деятельности // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2013. № 8. С. 342–345.

УДК 378.1

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ И ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГОТОВНОСТИ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ К СОЦИАЛЬНО-ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ АДАПТАЦИИ

Тюкина А.В.

*ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»,
Пенза, e-mail: shilina_anzhela@mail.ru*

В статье обосновывается необходимость формирования в образовательном процессе вуза готовности будущих бакалавров технического направления подготовки к социально-профессиональной адаптации в контексте её усложнения в условиях инновационного производства. Представлен анализ литературы, отражающий различные аспекты проблемы формирования у будущих инженеров данной готовности. Доказывается необходимость для практического решения этой проблемы определения методологических оснований и принципов формирования в образовательном процессе вуза готовности будущих инженеров к социально-профессиональной адаптации. Основное внимание уделено характеристике системного, компетентностного и личностно-ориентированного подходов. Сформулированы их основополагающие положения и идеи применительно к процессу формирования в образовательном процессе вуза готовности будущих бакалавров технического направления подготовки к социально-профессиональной адаптации. В соответствии с основными положениями системного, компетентностного и личностно-ориентированного подходов определены принципы формирования готовности. К принципам системного подхода к формированию в образовательном процессе вуза готовности будущих инженеров к социально-профессиональной адаптации отнесены такие, как принцип целостности и принцип всесторонности и комплексности. К принципам компетентностного подхода отнесены принципы практико-ориентированности и интенсификации, к принципам личностно-ориентированного – субъектности и открытости. Сформулирован вывод о том, что исходные методологические позиции и сформулированные на их основе принципы, регулирующие педагогическую деятельность по формированию в образовательном процессе вуза готовности будущих инженеров к социально-профессиональной адаптации, определяют её эффективность.

Ключевые слова: методологические основания, принципы, социально-профессиональная адаптация, высшая школа, профессиональная подготовка, будущие инженеры, готовность

METHODOLOGICAL BASES AND PRINCIPLES FOR FORMING THE READINESS OF FUTURE ENGINEERS FOR SOCIAL AND PROFESSIONAL ADAPTATION

Tyukina A.V.

Penza State Technological University, Penza, e-mail: shilina_anzhela@mail.ru

The article substantiates the need to form in the educational process of the university the readiness of future bachelors of the technical direction of preparation for social and professional adaptation in the context of its complication in the conditions of innovative production. An analysis of the literature is presented, reflecting various aspects of the problem of the formation of this readiness among future engineers. It proves the necessity for a practical solution of this problem to determine the methodological foundations and principles for the formation in the educational process of the university of the readiness of future engineers for social and professional adaptation. The main attention is paid to the characteristics of the systemic, competence-based and personality-oriented approaches. Their fundamental provisions and ideas are formulated in relation to the process of formation in the educational process of the university of the readiness of future bachelors of the technical direction of preparation for social and professional adaptation. In accordance with the main provisions of the system, competence and personality-oriented, the principles of formation of readiness are determined. The principles of a systematic approach to the formation in the educational process of the university of the readiness of future engineers for social and professional adaptation include such as the principle of integrity and the principle of comprehensiveness and complexity. The principles of the competence-based approach include the principles of practice orientation and intensification, the principles of the personality-oriented approach include subjectivity and openness. The conclusion is formulated that the initial methodological positions and the principles formulated on their basis that regulate pedagogical activity in the formation of the readiness of future engineers for social and professional adaptation in the educational process of the university determine its effectiveness.

Keywords: methodological foundations, principles, social and professional adaptation, higher education, professional training, future engineers, readiness

В современных социально-экономических условиях работодатель нуждается в молодых инженерных кадрах, обладающих инновационным мышлением и способных к адаптации к профессиональной деятельности в минимальные сроки. Однако её усложнение в контексте требований к инновационному развитию реального сектора

экономики значительно затрудняет процесс социально-профессиональной адаптации выпускников вуза – бакалавров технического направления подготовки. В этой связи роль системы высшего образования, осуществляющей профессиональную подготовку будущих инженерных кадров, заключается в формировании у них таких профессио-

нально-личностных качеств, как активность, самостоятельность, конкурентоспособность, потребность в постоянном саморазвитии и самосовершенствовании, готовность к эффективной социально-профессиональной адаптации к условиям профессиональной деятельности [1; 2].

Под готовностью будущего бакалавра технического направления подготовки к социально-профессиональной адаптации понимается сформированное в образовательном процессе вуза динамично развивающееся интегративное личностное образование, проявляющееся в субъектной позиции молодого инженера на начальном этапе вхождения в социально-профессиональную деятельность и обеспечивающее ему достижение оптимального уровня адаптированности, выступающего условием успешного функционирования и развития в профессии.

Успешность практического решения задачи формирования в образовательном процессе вуза готовности будущих инженеров к социально-профессиональной адаптации во многом зависит от исходных методологических позиций и сформулированных и реализуемых на их основе принципов, определяющих и регулирующих педагогическую деятельность [3]. В этой связи цель исследования – определение методологических оснований и принципов формирования в образовательном процессе вуза готовности будущих инженеров к социально-профессиональной адаптации.

Материалы и методы исследования

Анализ, обобщение и систематизация научной литературы по проблематике, связанной с формированием готовности будущих бакалавров технического направления подготовки к социально-профессиональной адаптации, а также методологическими подходами в образовании выступили в качестве методов научно-педагогического исследования.

Результаты исследования и их обсуждение

В основе определения методологических подходов и соответствующих им принципов формирования готовности будущих инженеров к социально-профессиональной адаптации лежит анализ работ, отражающих такие аспекты проблемы, как сущность и содержание социально-профессиональной адаптации молодых кадров к условиям профессиональной деятельности (Н.В. Гаврилова, Г.А. Грязнова, В.А. Ламбров, Р.В. Мартышкин, В.В. Спирина, И.Г. Шадская и др.); сущность понятия и структура готовности как психолого-педагогической категории

(Е.А. Белая, О.Л. Бурякова, О.Г. Зейнетдинова, Л.А. Северова, А.В. Харламов, А.П. Чернявская, И.Ю. Шарабанова, Е.А. Шибанова и др.); профессиональная подготовка будущих бакалавров технического направления подготовки в высшей школе (С.М. Вертешев, И.А. Гайнуллин, П.В. Герасименко, М.М. Куваева, С.Н. Лехин, Ш.Р. Мусин, Г.Р. Туйсина и др.); использование системного (Архангельский, В.П. Беспалько, И.В. Блауберг, Н.В. Кузьмина, В.А. Сластёнин, Э.Г. Юдин и др.), компетентностного (А.А. Вербицкий, И.А. Зимняя, Э. Зеер, С.Б. Серякова, Э. Сыманюк, А.В. Хуторской и др.) и личностно-ориентированного (Е.В. Бондаревская, О.С. Газман, А.В. Мудрик, Е.Н. Степанов, И.С. Якиманская и др.) методологических подходов в педагогических исследованиях.

Анализ сущности социально-профессиональной адаптации, структуры готовности применительно к будущим бакалаврам технического направления подготовки, а также методологических подходов в педагогических исследованиях позволил определить необходимость использования для эффективного практического решения задачи формирования готовности будущих инженеров к социально-профессиональной адаптации совокупности идей системного, компетентностного и личностно-ориентированного подходов и соответствующих им принципов.

Системный подход относится к традиционным и в должной мере разработанным в педагогической науке подходам. Им в разное время занимались такие исследователи, как С.И. Архангельский, В.П. Беспалько, И.В. Блауберг, Н.В. Кузьмина, Л.М. Панчешникова, В.А. Сластёнин, Э.Г. Юдин и др. В педагогических исследованиях методологического характера системный подход трактуется как «комплексное изучение объекта как единого целого с позиции взаимосвязанности всех его элементов, изучения каждого элемента системы в общем процессе функционирования и развития, влияния общесистемных качеств на элемент целого» [4, с. 52].

Применительно к проблеме формирования готовности будущих инженерных кадров к социально-профессиональной адаптации системный подход включает в себя: рассмотрение готовности будущего инженера как динамично развивающегося интегративного личностного образования, характеризующегося всеми присущими системе свойствами, и имеющего сложную иерархическую структуру из взаимосвязанных и взаимозависимых компонентов (мотивационного, когнитивного, деятельностно-коммуникативного и рефлексивно-оценоч-

ного); представление об образовательном процессе, реализуемом в высшей школе, как педагогической системе, характеризующейся единством процессов обучения, воспитания и развития, аудиторной и внеаудиторной деятельности, а также её динамичным развитием в тесной взаимосвязи с внешней социально-профессиональной средой; использование метода моделирования, представляющего собой построение модели как целостной динамической системы взаимосвязанных компонентов, представленных целевым, содержательным, технологическим, оценочно-результативным блоками.

С позиции системного подхода процесс формирования готовности будущих бакалавров технического направления подготовки к социально-профессиональной адаптации рассматривается как сложная частная педагогическая подсистема по отношению к профессиональной подготовке, осуществляемой в образовательном процессе вуза, представляющих собой иерархически соподчинённую систему взаимосвязанных структурных компонентов и отношений.

Системный подход к формированию в образовательном процессе вуза готовности будущих бакалавров технического направления подготовки к социально-профессиональной адаптации реализуется через следующие принципы: целостности – предполагает достижение единства и взаимосвязи всех компонентов образовательного процесса в контексте формирования готовности как интегративного личностного образования, достигаемых посредством единства аудиторной и внеаудиторной деятельности обучающихся, межпредметных и внутрипредметных связей.

1. Принцип всесторонности и комплексности – связан с включённостью всех сторон (целей, содержания и организации) и всех субъектов (обучающихся, преподавателей, кураторов студенческих групп, тьюторов, практических психологов, администрации, работодателей и др.) образовательного процесса в решение задачи формирования готовности будущих бакалавров технического направления подготовки к социально-профессиональной адаптации, а также учёта комплекса внешних и внутренних факторов, влияющих на формирование данной готовности.

Наряду с системным подходом процесс формирования готовности будущих инженеров к социально-профессиональной адаптации осуществляется на основе идей и положений компетентностного подхода. Компетентностный подход, являясь во многом ответом системы образования на со-

циальный заказ со стороны работодателей на профессиональную подготовку выпускников, максимально приближенную к потребностям рынка труда и инновационного производства, в полной мере отвечает задаче формирования готовности будущих бакалавров технического направления подготовки к социально-профессиональной адаптации.

Компетентностный подход в современной педагогической науке является предметом научных изысканий таких исследователей, как А.А. Вербицкий, О.Г. Ларионова, Э. Зеер, Э. Сыманюк, И.А. Зимняя, В.М. Коровин, Т.Л. Павлова, О.В. Цигулева, С.Б. Серякова, А.В. Хуторской и др. Под компетентностным подходом в педагогике понимается «совокупность общих принципов определения целей образования, отбора содержания образования, организации образовательного процесса и оценки образовательных результатов» [5, с. 3]. В этой связи стратегическая цель и задачи профессионального образования определяются в контексте основополагающей идеи о необходимости развития у обучающихся способности решать разноплановые проблемы на основе собственного опыта. Они выражаются в таком результате образовательного процесса в высшей школе, как компетентность. Компетентность в современной педагогической науке как «интегральная личностная характеристика, сложное личностное образование, основанное на ценностях, обеспечивающее профессионально-личностное развитие и саморазвитие специалиста, формирование субъектной позиции, опыта профессионально-ориентированной деятельности, в основании которой лежат фундаментальные знания и приобретённый практический опыт» [6, с. 42]. Являясь интегральной личностной характеристикой, как и готовность, компетентность содержит целый ряд компонентов (мотивационный, поведенческий или процессуально-деятельностный, ценностно-смысловой, эмоционально-волевой и др.).

В контексте реализации в высшей школе идей компетентностного подхода содержание образования трактуется как опыт решения широкого круга личностно-профессиональных проблем, что определяет сдвиг к «студентоцентрированности», переход к межпредметной интеграции взамен традиционно сложившейся предметной дифференциации, от абстрактных теоретических понятий и представлений о мире к практико-ориентированным. Реализация содержания образования в высшей школе с позиции компетентностного подхода способствует изменению характера педагогической и учебно-познавательной деятельности,

возрастанию практико-ориентированного характера профессиональной подготовки, увеличению в ней роли и объёма самостоятельной работы, а также широкому использованию потенциала методов активного и интерактивного обучения. В свою очередь, оценка результатов образовательного процесса в высшей школе основывается на определении уровня компетентности выпускников, что способствует интеграции его личностной и социальной составляющих, а также удовлетворению запроса работодателя на профессиональную подготовку кадров, способных работать в условиях инновационного производства, решая нестандартные профессиональные задачи разной степени сложности. Подобного рода трактовка результатов образовательного процесса с позиции компетентностного подхода отвечает задачам формирования готовности будущих инженерных кадров к социально-профессиональной адаптации.

Применительно к проблеме формирования в образовательном процессе вуза готовности будущих бакалавров технического направления подготовки к социально-профессиональной адаптации компетентностный подход включает в себя: рассмотрение формирования готовности будущих инженеров к социально-профессиональной адаптации как важной составляющей и результата профессиональной подготовки в высшей школе, обеспечивающего им конкурентоспособность на рынке труда; определение содержания и структуры готовности с учётом формируемых в образовательном процессе вуза компетенций; организацию образовательного процесса, ориентированного на обеспечение формирования у будущих бакалавров технического направления подготовки опыта решения различной сложности проблемных ситуаций через специальным образом отобранное содержание, инновационные формы, методы и средства, а также диалогический характер педагогического взаимодействия; координацию реализуемого содержания и организации профессиональной подготовки будущих инженеров с требованиями работодателя и рынка труда.

Компетентностный подход к формированию в образовательном процессе вуза готовности будущих бакалавров технического направления подготовки к социально-профессиональной адаптации реализуется через следующие принципы: практико-ориентированности – предполагает настройку целевых оснований, отбор содержания, технологий, методов и средств, используемых в ходе профессиональной подготовки будущих инженеров, с учётом особенностей

выбранной специальности, а также актуальных и перспективных требований рынка труда и производственных технологий; интенсификации – связан с применением в образовательном процессе вуза активных, инновационных форм, методов и средств, осуществлением систематического мониторинга и коррекции процесса формирования готовности будущих бакалавров технического направления подготовки к социально-профессиональной адаптации посредством использования научно обоснованного критериально-оценочного аппарата.

Формирование готовности будущих инженеров к социально-профессиональной адаптации с позиции компетентностного подхода ориентировано в первую очередь на социальный заказ. Вместе с тем формирование готовности, как интегративно-личностного образования, предполагает учёт идей и положений личностно-ориентированного подхода.

Основополагающие идеи личностно-ориентированного подхода нашли своё отражение в исследованиях М.А. Акоповой, Е.В. Бондаревской, О.С. Газмана, О.Т. Дзампаевой, М.С. Завьяловой, Е.С. Казанцевой, Е.Н. Кролевецкой, А.В. Мудрика, В.В. Серикова, Е.Н. Степанова, И.С. Якиманской, А.В. Шабаровой и др. Анализ данных работ позволяет выделить в качестве основополагающих положений личностно-ориентированного подхода, реализуемого в системе высшего образования такие, как признание самоценности личности обучающегося, создание условий для развития и самореализации которой рассматривается в качестве ключевой цели высшего образования (М.А. Аكوпова, О.А. Воскресенко, Е.Н. Кролевецкая и др.); рассмотрение обучающегося как полноправного субъекта образовательного процесса, способного к саморазвитию, самореализации, саморегуляции и самосовершенствованию (Е.В. Бондаревская, О.Т. Дзампаева и др.); включение обучающегося в разнообразные виды деятельности, основанные на самоорганизации личности и способствующие развитию её активности, ответственности, самостоятельности, самоконтроля и саморегуляции, а также способности осуществлять осознанный выбор (О.А. Воскресенко, Е.Н. Кролевецкая, В.В. Сериков.); учёт индивидуально-психологических и возрастных особенностей обучающегося как условия оптимизации образовательного процесса и совершенствования его личности (М.А. Аكوпова, О.А. Воскресенко, Е.Н. Степанов и др.); организация педагогического взаимодействия преподавателей и обучающихся на основе принципа диало-

гичности и партнерства (М.А. Аكوпова, А.В. Мудрик и др.); осуществление педагогического взаимодействия субъектов образовательного процесса в парадигме педагогического сопровождения, помощи и поддержки (О.А. Воскресенко, О.С. Газман, И.А. Гребенникова, Т.Н. Шабалкова и др.); использование совокупности форм, методов и приёмов, характеризующихся диалогичностью, деятельностно-творческим характером, возможностью предоставления обучающимся свободы выбора (Е.В. Бондаревская и др.).

Применительно к проблеме формирования в образовательном процессе вуза готовности будущих бакалавров технического направления подготовки к социально-профессиональной адаптации личностно-ориентированный подход предполагает рассмотрение формирования готовности будущего инженера к социально-профессиональной в связи с задачей создания условий для его личностного развития и личностной самореализации как приоритетных, а профессионального развития и профессиональной самореализации – как достраиваемых над личностным; построение процесса формирования готовности будущего инженера к социально-профессиональной адаптации на основе субъект-субъектного взаимодействия, направленного на стимулирование саморегуляционных процессов, рефлексии, потребности в самопознании и самореализации, а также позиции ответственного выбора в адаптационной ситуации.

Личностно-ориентированный подход к формированию в образовательном процессе вуза готовности будущих бакалавров технического направления подготовки к социально-профессиональной адаптации реализуется через следующие принципы: субъектности – признание будущего инженера в качестве полноправного субъекта процесса формирования готовности к социально-профессиональной адаптации, построеного на субъект-субъектном взаимодействии и предполагающем предоставление обучающемуся определенных свобод для саморегуляции, личностно-профессионального саморазвития и самоопределения; открытости – предполагает гибкую реакцию на образовательные запросы будущего инженера,

вариативность образовательных программ и проектов, возможность построения индивидуальной образовательной траектории, максимальный учёт потребностей личности, её способностей и возможностей.

Заключение

Таким образом, совокупность идей и положений системного, компетентностного и личностно-ориентированного подходов позволяет учесть характер готовности будущих инженеров к социально профессиональной адаптации как интегративного личностного образования, определяющего сложность и многоаспектность процесса её формирования в ходе профессиональной подготовки в высшей школе. Системный подход ориентирует на рассмотрение процесса формирования готовности как сложной педагогической системы, осуществляемой в образовательном процессе вуза, представляющей собой иерархически соподчинённую целостность взаимосвязанных структурных компонентов и отношений. Целостность данной системе придаёт социальный заказ, на реализацию которого ориентирует компетентностный подход, гармонизируемый и дополняемый идеями личностно-ориентируемого подхода.

Список литературы

1. Воскресенко О.А., Шилина А.В. Формирование готовности будущих бакалавров-инженеров к социально-профессиональной адаптации как педагогическая проблема // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2013. № 8 (12). С. 48–53.
2. Туйсина Г.Р. Теоретико-методологические аспекты профессиональной подготовки бакалавров технических направлений в вузе // Проблемы современного педагогического образования. 2021. № 70–3. С. 231–234.
3. Воскресенко О.А. Методологические основы формирования социальной адаптивности обучающихся в высшей школе // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/130-23262> (дата обращения: 29.04.2022).
4. Педагогический словарь: учебное пособие / Под ред. В.И. Загвязинского, А.Ф. Закировой. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 352 с.
5. Лебедев О.Е. Компетентностный подход в образовании // Школьные технологии. 2004. № 5. С. 3–12.
6. Серякова С.Б. О компетентностном подходе в образовании // Вестник Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. Серия: Педагогические и психологические науки. 2013. № 3 (66). С. 41–45.

УДК 373.1:372.8

ДИДАКТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ GOOGLE CLASSROOM И DISCORD ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА В ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ

¹Фирер А.В., ¹Мелешко Е.А., ¹Сидоров В.В., ²Пономарева А.О.

¹Лесосибирский педагогический институт – филиал

Сибирского федерального университета, Лесосибирск, e-mail: fivr@yandex.ru;

²ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск,
e-mail: ponomareva8521@gmail.com

В связи со стремительным развитием информационного общества цифровая трансформация проникает во многие области деятельности человека. Сфера образования не является исключением, выдвигаются новые требования к умениям педагогов организовывать учебный процесс в цифровой образовательной среде, сохраняя интерактивность взаимодействия. В сети Интернет существует достаточно большое количество средств, способствующих организации учебного процесса и обладающих различными дидактическими возможностями. Такое многообразие, в свою очередь, вызывает затруднения у педагогов при выборе наиболее подходящих для целей обучения средств. Авторами проведен и представлен анализ технических и дидактических возможностей, положительных и отрицательных сторон онлайн-сервисов для реализации интерактивного педагогического взаимодействия и организации учебного процесса, таких как Google Sites, ЯКласс, Google Classroom, Zoom, Google Forms, Яндекс.Формы, Webinar Meetings, Discord, Skype. На примере сервисов Google Classroom и Discord продемонстрированы возможности организации учебного процесса в цифровой образовательной среде с реализацией интерактивного педагогического взаимодействия. Описана технология и способы использования как в условиях очного, так и дистанционного формата обучения. Данная статья будет полезна как студентам педагогических направлений, так и работающим учителям, так как в статье предлагаются методические рекомендации по организации учебного процесса с реализацией интерактивного взаимодействия в цифровой образовательной среде.

Ключевые слова: цифровая образовательная среда, дистанционное обучение, интерактивное педагогическое взаимодействие, онлайн-сервисы, Discord, Google Classroom

DIDACTIC CAPABILITIES OF GOOGLE CLASSROOM AND DISCORD FOR ORGANIZING THE EDUCATIONAL PROCESS IN A DIGITAL EDUCATIONAL ENVIRONMENT

¹Firer A.V., ¹Meleshko E.A., ¹Sidorov V.V., ²Ponomareva A.O.

¹Lesosibirsk Pedagogical Institute – branch of Siberian Federal University,

Lesosibirsk, e-mail: fivr@yandex.ru;

²Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: ponomareva8521@gmail.com

Due to the rapid development of the information society, digital transformation penetrates into many areas of human activity. The field of education is no exception, the modern education system puts forward new requirements for the skills of teachers to organize the educational process in a digital educational environment, while maintaining the interactivity of interaction. There are quite a large number of tools on the Internet that contribute to the organization of the educational process and have various didactic capabilities. Such diversity, in turn, causes difficulties for teachers when choosing the most suitable means for teaching purposes. The authors conducted and presented an analysis of technical and didactic capabilities, positive and negative aspects of online services for the implementation of interactive pedagogical interaction and the organization of the educational process, such as Google Sites, Yaklass, Google Classroom, Zoom, Google Forms, Yandex.Forms, Webinar Meetings, Discord, Skype. The example of Google Classroom and Discord services demonstrates the possibilities of organizing the educational process in a digital educational environment with the implementation of interactive pedagogical interaction. The content of the article includes a description of the technology and methods of use in both full-time and distance learning formats. This article will be useful for both students of pedagogical disciplines and working teachers, as the article offers methodological recommendations on the organization of the educational process with the implementation of interactive interaction in a digital educational environment.

Keywords: digital educational environment, distance education, interactive pedagogical interaction, online services, Discord, Google Classroom

В настоящее время происходит активное развитие информационного общества, развитие информационно-коммуникационных технологий, мобильных устройств, компьютеров и повсеместное использование сети Интернет. Данные факты обуславливают становление Интернета как одной из наиболее используемых площадок

для интерактивного педагогического взаимодействия учителя и учеников в условиях функционирования цифровой образовательной среды. Вслед за Н.В. Быстровой под цифровой образовательной средой (далее – ЦОС) будем понимать «совокупность возможностей и условий, которая предоставляет определенный набор ресур-

сов и технологий, обеспечивающих технологическую организацию образовательного процесса» [1, с. 2]. Новые условия диктуют также и новые требования к подготовке специалистов, в том числе и педагогических кадров. В настоящее время в школах является обязательным ведение электронного журнала и электронного дневника, в ФГОС всех уровней общего образования прописаны требования к организации учебного процесса в ЦОС, а с распространением мировой пандемии (начиная с 2020 г.) особенно актуальными стали и остаются ресурсы сети Интернет для организации педагогического взаимодействия и эффективного обучения. К неотъемлемой части компетенций современного педагога относятся не только умение работать с интернетом, компьютером и доступными образовательными онлайн-ресурсами, а также умение адаптировать информационные ресурсы и сервисы общего назначения для образовательных целей.

Цель исследования – выявить и продемонстрировать дидактические возможности интернета (на примере использования Google Classroom и Discord) для организации учебного процесса в ЦОС с поддержкой интерактивного педагогического взаимодействия участников образовательного процесса.

Материалы и методы исследования

В основу исследования был положен теоретический анализ научных трудов в области использования средств Интернета для организации учебного процесса в ЦОС с поддержкой интерактивного педагогического взаимодействия, сравнительный анализ платформ и сервисов, а также такие теоретические методы, как обобщение, абстрагирование. В исследовании использовалось анкетирование как эмпирический метод исследования.

Результаты исследования и их обсуждение

Интернет на сегодняшний день играет большую роль в жизни каждого, начиная со сбора информации и заканчивая общением и досугом. Интернет является информационной системой связи, благодаря которой возможно осуществлять интерактивное взаимодействие с мгновенной обратной связью независимо от местоположения учащихся и педагога. Так как «влияние Интернета на всю сферу образования связано с изменениями форм коммуникаций в сети и их интенсивностью, социальными взаимодействиями, способами передачи знаний» [2, с. 2], мы можем говорить о новом подходе к организации учебного процесса в ЦОС и использованию цифровых возмож-

ностей для реализации интерактивного педагогического взаимодействия участников образовательного процесса.

В ходе исследования были рассмотрены и проанализированы платформы и сервисы, обладающие техническими и дидактическими возможностями для реализации интерактивного взаимодействия в ЦОС с использованием сети Интернет. Остановимся на них подробнее.

ВКонтакте [3] – популярная социальная сеть среди современного поколения, которую часто используют в России. Данная платформа не является образовательной, но может выступать связующим звеном между педагогом и учащимися в интерактивном взаимодействии, так как обладает удобным интерфейсом и возможностью получения мгновенной обратной связи за счет отправки сообщений или файлов. В ходе исследования было проведено анкетирование учителей г. Лесосибирска и Енисейского района Красноярского края, которое показало, что около 70 % респондентов используют социальную сеть ВКонтакте, но преимущественно для организационных вопросов и выдачи домашнего задания обучающимся. В этом случае не идет речь о цифровой трансформации образования. Минусом использования данной платформы является излишняя, не относящаяся к образовательному процессу информация. Поэтому педагог вынужден поддерживать дисциплину и внимание обучающихся на уроке при реализации интерактивного взаимодействия в этой сети.

Google Forms [4] – отдельный проект из многих от компании Google, основное предназначение которого заключается в создании опросов, тестов, анкет для сбора информации, которая затем может быть структурирована в виде диаграмм или электронной таблицы. Отдельно стоит отметить, что Google Forms можно интегрировать с другими сервисами от Google. Например, существует возможность встраивания формы на сайт, разработанный в сервисе Google Sites. Также можно выделить возможность реализации обратной связи со стороны учащихся, но полная реализация интерактивного общения не может быть завершена из-за ряда причин, таких как проблемы доступа к Google Forms в некоторых браузерах, отсутствие постоянной связи с педагогом в режиме реального времени.

Яндекс.Формы [5] является отечественной платформой, аналогичной Google Forms, но с рядом преимуществ. Яндекс.Формы обладают более обширным спектром возможностей (отправка файлов любого вида, ввод капчи для проверки и др.). Опросы можно встраивать в разработанные сайты для ре-

лизации обратной связи с обучающимися. Можно сделать вывод, что данное средство, так же как и Google Forms, реализует асинхронное взаимодействие участников образовательного процесса и выступает как вспомогательный инструмент на определенных этапах учебного процесса.

Google Sites [5] – это платформа, созданная для создания сайтов без знаний разнообразных языков программирования, обладающая удобным и понятным интерфейсом, позволяющим интуитивно создавать авторские сайты. Обладает всеми необходимыми инструментами для создания сайтов, в том числе с образовательным контентом (веб-квест, сайт с тестами, хранилище теоретической информации и многое другое). Данное средство в сети Интернет может реализовать интерактивное взаимодействие между педагогом и учащимися, однако это является трудоемким процессом, так как включает в себя много этапов: создание структуры сайта, разработка содержания, разработка дополнительных материалов, реализация обратной связи, внедрение содержания в сайт, создание дизайна, проверка и отладка сайта.

ЯКласс [6] – образовательный проект, являющийся цифровым образовательным ресурсом, разработанным с целью удобного цифрового взаимодействия между педагогом и обучающимися. Данная платформа позволяет педагогу осуществлять мгновенную проверку знаний, выдавать домашние задания и отслеживать успехи своих учеников. При этом существует некоторое ограничение при создании профиля педагога на данной платформе. ЯКласс является одним из немногих средств, позволяющих реализовать практически идеальное интерактивное взаимодействие между педагогом и учащимися, то есть осуществляет включенность каждого участника, использование инфокоммуникационные технологий, обратную связь, коммуникацию, определенную систему взаимодействия. В то же время отсутствует непрерывная связь учащихся с педагогом, присутствует обязательная привязка контента к определенному учебнику. Определенные ограничения возникают и в связи с тем, что расширенная версия платформы является платной.

Google Classroom [7] – бесплатный веб-сервис от Google, предназначенный для упрощения работы педагога. В нем возможно организовать обмен файлами и создание личного курса по необходимому учебному предмету с заданиями, тестами, теоретическим материалом. В отличие от ЯКласс, создание профиля более доступно, так как нет необходимости в подтвержде-

дении личности. Данное средство сильно схоже с отечественной разработкой и также не решает проблему с непрерывной связью между педагогом и учащимися.

Таким образом, стоит проблема организации непрерывной обратной связи в условиях, например, дистанционного обучения. Одним из многих средств в интернете для реализации непрерывной связи может служить Skype. Данное средство является популярным в повседневной и профессиональной жизни человека, позволяет устанавливать связь в форме аудио/видео, а также имеет возможности отправки сообщений, демонстрации экрана и обмена файлами.

Zoom [8] – программа, которая разработана для организации видеоконференций, стала часто использоваться педагогами в качестве средства, позволяющего реализовать дистанционное обучение. Минусом является то, что при бесплатном использовании конференция может длиться только сорок минут. Плюсы – возможность демонстрировать рабочий экран и вести трансляцию для ста участников одновременно.

Webinar Meetings [9] – российская платформа, разработанная для организации и проведения онлайн-мероприятий, обучения, встреч и вебинаров. Данная площадка является отечественным аналогом Zoom со схожим функционалом. Webinar Meetings обладает бесплатным тарифом, включающим такие функции, как проведение онлайн-встречи длительностью до 60 мин, конференция вмещает 30 участников, присутствует файловый менеджер, но существует ограничение на хранилище файлов до 0,5 Гбайт. Более обширный функционал доступен только в платных тарифах.

Discord [10] – средство, разработанное для геймеров, которым необходима быстрая и надежная связь в ходе игрового процесса. Благодаря своему привлекательному дизайну, ориентированному на молодое поколение, позволяет заинтересовывать учащихся. Функционал сложно переоценить. Discord имеет массу расширений, которыми не обладают бесплатные тарифы вышеперечисленных сервисов. Например, в нем можно создавать виртуальные комнаты и приглашать в них участников, то есть учеников. В данных виртуальных комнатах есть возможность общения как посредством чата, так и в аудио/видео формате, доступен обмен файлами и демонстрация своего экрана, тем самым обеспечивается организация интерактивного взаимодействия в микрогруппах. Несомненным плюсом является и то, что данный сервис является бесплатным при столь широких дидактических и технических возможностях.

Таким образом, в результате исследования был сделан вывод о том, что при проведении занятия в ЦОС в условиях дистанционного формата обучения выступает проблема непрерывной связи между педагогом и учащимися, что можно решить за счет использования дополнительных средств Интернета. Наиболее подходящими для реализации асинхронного интерактивного взаимодействия являются ЯКласс и Google Classroom. Однако их использование в условиях классно-урочной системы является нерациональным и больше нацелено на внеурочную деятельность или дистанционную форму обучения.

В ходе исследования была разработана технология реализации использования «Google Classroom» и «Discord» для организации учебного процесса в ЦОС. Рассмотрим ее на примере темы «Банковская система».

Исследованиями в области использования онлайн-сервиса Discord в образовательных целях занимаются В.В. Книжин [11], Н.Л. Гребенникова [12], Е.А. Косова [13] и др. Однако в этих исследованиях недостаточно полно раскрыта технология его использования.

Опишем технологию использования Discord как средства непрерывной связи и приведем алгоритм создания виртуальной комнаты:

1. Зарегистрироваться в сервисе Discord.

2. Скачать с официального сайта загрузочную программу Discord и зайти под своим аккаунтом, воспользоваться встроенной кнопкой «Добавить сервер», которая позволит впоследствии создать виртуальный кабинет для учащихся.

3. Выбрать тип сервера. Отметим, что в Discord имеется учебный шаблон под название «Учебная группа», стоит выбрать именно его, так как это позволяет экономить время и создать автоматизированную, удобную для обучающегося и педагога среду интерактивного взаимодействия.

4. Дать название серверу в зависимости от дисциплины и целей использования.

В виртуальной комнате присутствуют три раздела (рис. 1).

1. Раздел «Информация» содержит два канала. Первый – для ознакомления с правилами использования виртуальной комнаты, а второй – для обмена информационными полезными ресурсами, необходимыми в ходе учебного процесса.

2. Раздел «Текстовые каналы» содержит три канала. Первый нужен для общения в форме чата, второй отвечает за помощь в домашнем задании, третий канал необходим для планирования осуществления аудио-видеосвязи между учащимися и педагогом, как в учебное время, так и в случае необходимости во внеучебное время.

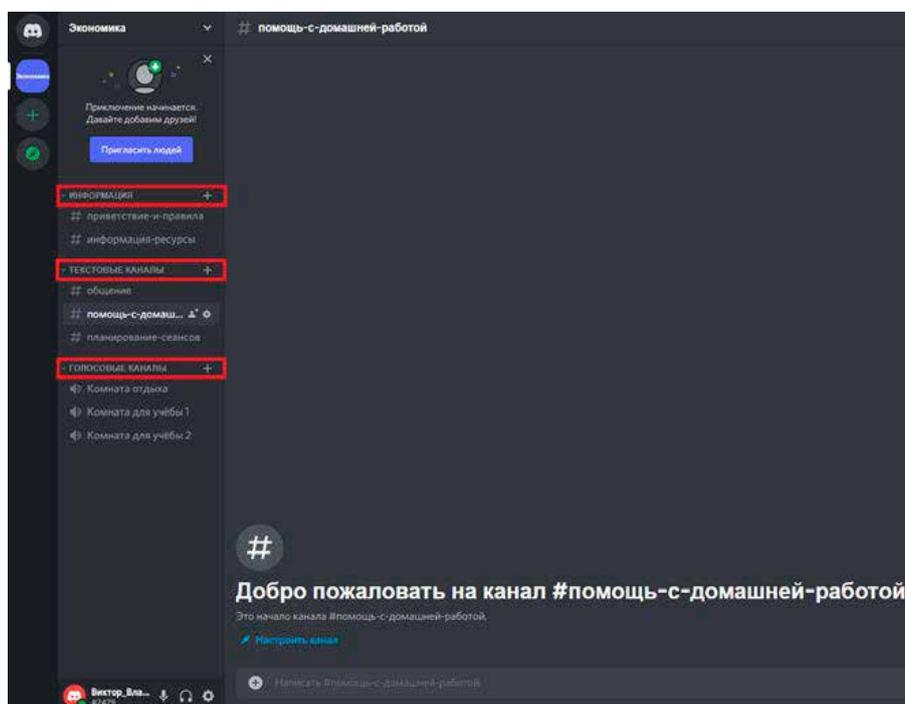


Рис. 1. Интерфейс виртуальной комнаты «Экономика»

3. Раздел «Голосовые каналы» содержит три канала. Первый канал с аудио-видеосвязью создан для того, чтобы учащиеся могли отдохнуть во время перерыва либо до начала занятия. Второй и третий каналы созданы непосредственно для осуществления синхронного интерактивного взаимодействия. При необходимости деления учащихся на группы можно попросить первую группу зайти в «Комната для учебы 1», а вторую группу – в «Комната для учебы 2».

Таким образом, посредством создания виртуальных комнат с помощью сервиса Discord возможно организовать непрерывный интерактивный диалог между участниками образовательного процесса. Однако для реализации дидактических возможностей по автоматизации контроля и самоконтроля результатов учебной деятельности, коррекции по результатам контроля, тренировки необходимо использовать дополнительные сервисы.

Анализ представленных выше сервисов и платформ позволил выделить для реализации перечисленных дидактических функций платформу «Google Classroom».

Для создания курса необходимо зарегистрироваться в сервисе Google и перейти на платформу «Google Classroom», а затем активировать кнопку «Создать курс» и заполнить форму для описания курса (название курса, раздел, предмет, аудитория).

Такие этапы урока, как оргмомент, повторение, объяснение нового материала, могут быть осуществлены либо непосредственно лично в кабинете с учащимися, либо в дистанционном формате посредством Discord. Оставшиеся этапы урока, такие как первичное закрепление нового материала, поста-

новка домашнего задания, рефлексия, могут быть эффективно реализованы с помощью сервиса «Google Classroom».

Для первичного закрепления рекомендуется разработать индивидуальные задания, а затем интегрировать их в платформу для дальнейшей работы с помощью функции «Создать задание» (рис. 2).

Выполнение заданий в «Google Classroom» можно отслеживать с помощью специальной вкладки «Оценки», что позволяет педагогу контролировать и корректировать работу обучающихся.

Для удобства проверки этап постановки домашнего задания имеет смысл осуществить также на платформе «Google Classroom». Для этого необходимо создать отдельную тему «Домашняя работа», что позволит педагогу и обучающимся лучше ориентироваться в курсе.

Этап рефлексии можно реализовать как с использованием Discord в форме устного опроса, так и в «Google Classroom» с помощью встроенного теста.

Таким образом, в ходе исследования были выделены технические и дидактические возможности «Google Classroom» и Discord для организации учебного процесса в ЦОС с поддержкой интерактивного взаимодействия преподавателя с учащимися на примере темы «Банковская система». Как показала апробация, у обучающихся могут возникнуть следующие проблемы: необходимость регистрации аккаунта в сервисе Google, сложности в изучении интерфейса Discord, связанные с настройкой периферийных устройств компьютера, однако данные трудности возникают только на первых этапах работы с данными цифровыми ресурсами.

The image shows the 'Create Assignment' interface in Google Classroom. At the top, there is a title bar with 'Задание' (Assignment) on the left and 'Сохранено' (Saved) and 'Создать задание' (Create assignment) on the right. The main area is divided into two columns. The left column contains the assignment details: a title field with 'Задание 1. Виды банков и их функции', an 'Инструкции (необязательно)' (Instructions, optional) section with the text 'Необходимо написать в электронном/письменном варианте какие виды банков вы изучили. Нужно раскрыть сущность основных понятий. Отразить функции банков.', and a rich text editor with various icons. The right column contains configuration options: 'Для кого' (For whom) set to 'Экономика...' and 'Все учащиеся'; 'Баллы' (Points) set to 'Без оценки'; 'Срок сдачи' (Due date) set to 'Срок сдачи не задан'; 'Тема' (Topic) set to 'Банковская система'; and 'Критерий оценки' (Assessment criteria) with a '+ Критерий оценки' button.

Рис. 2. Форма для создания задания

В то же время реализация дидактических возможностей по формированию умения получать информацию из различных источников, обрабатывать и хранить ее, передавать информацию, представленную в различных видах, по организации интерактивного диалога, автоматизации контроля и самоконтроля результатов учебной деятельности, коррекции по результатам контроля, по формированию у учащихся коммуникативных навыков, культуры общения не является слишком трудозатратной со стороны учителя, хотя, несомненно, требует от него владения цифровыми компетенциями.

В дальнейшем планируется проведение опытно-экспериментального исследования на контрольной и экспериментальной группах с целью определения эффективности формирования знаний, умений и универсальных учебных действий посредством проведения системы уроков с использованием «Google Classroom» и «Discord» в сравнении с традиционным форматом обучения в процессе формирования финансовой грамотности обучающихся.

Список литературы

1. Быстрова Н.В., Ремизова Е.А., Ермолаева Е.Л. Реализация электронного обучения в цифровой образовательной среде // Проблемы современного педагогического образования. 2020. № 69–3. С. 14–17.
2. Куликова Н.Ю. Образовательная онлайн-платформа как фактор изучения интерактивных технологий обучения в условиях сетевого взаимодействия // Мир науки. Педагогика и психология. 2020. Т. 8. № 4. С. 29.
3. «ВКонтакте» [Электронный ресурс]. URL: <https://vk.com/> (дата обращения: 10.05.2022).
4. Google Forms [Электронный ресурс]. URL: <https://www.google.ru/intl/ru/forms/about/> (дата обращения: 10.05.2022).
5. Google Sites [Электронный ресурс]. URL: <https://sites.google.com/> (дата обращения: 11.05.2022).
6. ЯКласс [Электронный ресурс]. URL: <https://www.yaklass.ru/> (дата обращения: 11.05.2022).
7. Google Classroom [Электронный ресурс]. URL: <https://classroom.google.com> (дата обращения: 11.05.2022).
8. Zoom [Электронный ресурс]. URL: <https://zoom.us/> (дата обращения: 10.05.2022).
9. Webinar Meetings [Электронный ресурс]. URL: <https://lp.webinar.ru> (дата обращения: 10.05.2022).
10. Discord [Электронный ресурс]. URL: <https://discord.com/> (дата обращения: 10.05.2022).
11. Книжин В.В., Наумов И.А. Цифровизация образования: отдельные вопросы проведения групповых проектов // Бизнес-образование в экономике знаний. 2020. № 3 (17). С. 67–71.
12. Гребенникова Н.Л., Косцова С.А., Ильбулатова Д.В., Малкина А.А. Особенности изучения величины «Масса» в начальной школе // Кронос. 2021. № 1 (51). С. 23–26.
13. Косова Е.А., Дюличева Ю.Ю. Опыт преподавания математических дисциплин с использованием электронного обучения и дистанционных образовательных технологий в период пандемии Covid-19 // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2020. Т. 16. № 1. С. 207–223.